

DETERMINACION DE LA COMPOSICIÓN DE MORTEROS ENDURECIDOS DE CAL, HIBRIDOS Y DE CEMENTO PORTLAND

TRAVERSA, Luis P.

LEMIT-CIC .Calle 52 entre 121y 122, La Plata, Argentina

direccion@lemit.gov.ar

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. Se presenta en este trabajo como resultado de la experimentación desarrollada a lo largo de muchos años un esquema de evaluación de los morteros endurecidos que tiende a determinar, con la mayor exactitud posible, la composición de los empleados en revestimientos de muros como así también en juntas de asiento de ladrillos, baldosas o mayólicas. Se informan estudios realizados sobre morteros ejecutados en épocas diferenciadas que emplean como ligante cal o cemento pórtland o una mezcla de ellos, conjuntamente con áridos finos, naturales o de trituración, adiciones minerales activas y/o colorante.

1.- INTRODUCCIÓN

El mortero es una masa compuesta fundamentalmente por cal, arena y agua, que se emplea 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 un mortero 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, que un 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; á dos partes de arena, una de cal: esta es la regla que debe seguirse en la composición del mortero. Si á la arena de mar ó 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 por muchos años, prácticamente hasta la actualidad, para la elaboración de los morteros.

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 Pórtland o una mezcla de cal y cemento, dando origen a los morteros denominados híbridos. En la actualidad, los revoques se pueden realizar también con cementos de albañilería.

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 expuestas. Cuando se ha empleado cal o un material cementíceo, su degradación ocurre en aquellos casos en que existe humedad ascendente o descendente, por lo cual los productos hidratados se lixivian, generando un material deleznable. 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 cales.

En el caso que se halla empleado agregados con conchillas el deterioro y la pérdida de consistencia del material puede ser atribuida a que los fragmentos biogénicos sufren con el transcurso del tiempo y la intemperización, un proceso de descalcificación que les otorga un carácter blando y 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.

En los revoques de los paramentos, el hidróxido de calcio se cristaliza y luego 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. En los ubicados en atmósferas industriales o urbanas con un alto grado de contaminación, principalmente de compuestos de azufre y óxido de nitrógeno, también, se pueden detectar alteraciones por reacciones químicas.

2.- TIPOS DE MORTEROS

2.1.- Morteros de Cal

Los morteros de cal se obtienen mezclando cal, arena y agua, siendo la relación cal/arena, en peso, más empleada en morteros antiguos de 1:3 [3]. 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 o Magdalena; debe mencionarse para esa época y hasta muy entrado el siglo XX algunos hornos en la región de La Plata, elaboraban el producto empleando como materia prima conchillas extraídas de los yacimientos existentes a lo largo del litoral del Río de La Plata.

En el horno de cal tiene lugar el proceso de descarbonatación de la piedra caliza o dolomía en 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 mezclado con el resto de compuestos del mortero reacciona con el anhídrido carbónico del aire, regenerando el material de origen y adquiriendo lentamente resistencia. La formación superficial de una capa de carbonato de calcio hace que la misma sea prácticamente insoluble, ya que el hidróxido de calcio tiene una solubilidad 40 veces mayor que el carbonato. Si la piedra caliza original contiene impurezas (sílice, aluminio, hierro), en el horno se generan aluminatos y silicatos similares a los del cemento portland, dando origen a una cal hidráulica.

En el área de influencia de la ciudad de Buenos Aires los agregados empleados en una primera etapa han sido las arenas naturales silico-feldespáticas del Río Uruguay y con posterioridad las silíceas 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 y 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].

Algunas experiencias realizadas en morteros elaborados con cal aérea y cal hidráulica y arena silicea se muestran en la Tabla 1 comparativamente con un mortero elaborado con cemento pórtland. En estos morteros se evaluó la influencia del ligante y las proporciones sobre la resistencia de rotura a compresión y a la absorción de agua, confirmándose los bajos valores de estos parámetros en comparación con un mortero de cemento Pórtland.

Tabla1: Resistencia de rotura a compresión (f'c) y absorción de agua (Abs.)

Ligante	Proporción (en peso)	f'c (MPa)	Abs. (%)
Cemento pórtland	1:3	19.2	8.2
Cal Hidráulica	1:2	1.7	18.0
	1:4	0.6	15.4
Cal Aérea	1:2	0.4	19.5
	1:4	0.4	13.2

2.2.- Morteros De Cemento Portland

Los morteros elaborados con cemento pórtland presentan altas resistentes y una elevada contracción por secado, lo que puede originar fisuras en el revoque durante el proceso de endurecimiento. La trabajabilidad, que no es muy elevada, puede incrementarse sin embargo con la adición de limos o arcillas, que lubriquen las partículas del agregado.

Los morteros símil piedra utilizados en revestimientos exteriores de muros, que tuvieron una amplia difusión en los edificios construidos en el siglo XX, a partir de la década del 20 hasta la del 50, emplean como ligante a la cal o al cemento Pórtland, que puede ser de color blanco y como material inerte, distintos tipos de rocas trituradas con la incorporación de colorantes y, en muchos casos, paquetes de moscovita de distinto tamaño [3]. En Argentina a fines de la década del '30 del siglo XX, existió una corriente de construcción de mobiliario urbano prefabricado, ejecutado en símil piedra elaborado con mármol de color blanco triturado con un tratamiento superficial para alcanzar la exposición de las partículas del agregado.

Los colores ocres, grises, rosados, blanco, etc. del mortero símil piedra se originan en las combinaciones y proporciones de los componentes. Como recursos estéticos, al color se le suma la textura y el relieve. La textura depende de la granulometría de los agregados y de la técnica y de las herramientas empleadas en la terminación, los cuales podían resultar lisos, peinados en distintos espesores y profundidades, rayados, etc. (ver Fotografía) [3].

2.3.- Morteros Híbridos

Estudios realizados en Argentina a mediados del siglo XX, han mostrado que los establecimientos de producción de cales están constituidos por hornos de calcinación rudimentarios y que la industria se desenvolvía prácticamente como a principios de siglo. Para la misma fecha la mayoría de las cales hidráulicas que se producía, tal vez debido a una calcinación realizada a temperatura inferior para que efectivamente se produzcan los compuestos hidráulicos necesarios, originaban resistencia de rotura a compresión muy bajas e inferiores a la especificada en la normativa. Esta situación llevo a ejecutar morteros híbrido para compensar con la incorporación de una parte de cemento pórtland la baja resistencia de los morteros de cal [2].

Estos morteros reúnen, entonces las ventajas del mortero de cal y el del cemento pórtland, o sea trabajabilidad y una adecuada resistencia.

En la actualidad se emplean cementos de albañilería, obtenidos por la pulverización conjunta de clínquer pórtland y materiales para mejorar la plasticidad y la retención de agua. En la Tabla 2 se informan algunos estudios realizados sobre morteros de asiento preparados con distintas proporciones de cemento Pórtland (CP) y cal hidráulica (CH) determinándose la resistencia a flexión, la resistencia de rotura a compresión y la contracción por secado, a la

edad de 28 días en comparación con un mortero elaborado con cemento de albañilería (CA). El agregado empleado es una arena silícea de MF:1.95.

Tabla2: Resistencia a flexión (MR), resistencia de rotura a compresión (f'c) y contracción por secado (CS), a la edad de 28 días, para distintos tipos de morteros.

Mortero	Proporciones (en peso)	MR (MPa)	f'c (MPa)	CS (%)
CA:AS	1:3	1.3	2.5	0.065
CP:CH:AS	1:0.25:3.75	3.5	12.5	0.056
	1:1:6	2.1	5.3	0.069
	1:2.5:10.5	0.9	2.0	0.062

3.- DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES

Para determinar en morteros endurecidos las proporciones del ligante y de los agregados empleados se pueden seguir los lineamientos generales, especificados en la Norma DIN 52170 [5]. Esta norma especificada para evaluar hormigones de cemento pòrtland 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.

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 nº 80 y determinar el contenido de óxido de sílice de acuerdo a la Norma IRAM 1504 [7] y el contenido de Calcio por titulación con EDTA. En el caso que el mortero esté ejecutado con cemento, la relación óxido de calcio / óxido de sílice es del orden de 3 mientras que si se trata de una cal aérea, el porcentaje de sílice es mínimo, ya que la sílice determinada es la que solubilizan los agregados frente al ataque con ácido. Si se trata de una cal hidráulica el porcentaje podrá ser algo mayor, dependiendo del índice de hidraulicidad de la misma. En el caso de morteros híbridos la relación entre ambos componentes será intermedia.

Es conocido que la sílice interviene en la constitución del cemento y en la generalidad de los agregados utilizados en los morteros, pero la forma de combinación en la que intervienen son diferentes. En los agregados se encuentran 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 el cemento se encuentran casi totalmente como silicatos y en la cal como carbonatos de calcio que son fácilmente atacables.

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 por calcinación a 1000 °C que 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 la presencia de los citados componentes para realizar las correcciones necesarias.

En casos en que 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. Esta situación es particularmente válida en el símil piedra en el cual se ha detectado la presencia de óxidos de hierro para otorgar una coloración rojiza o el empleo de negro de humo para dar coloraciones grisáceas. En algunos casos, la simple observación del mortero en especial aquellos rugosos o rayados indicar una determinada coloración, pero cuando se profundizan los estudios, fundamentalmente al microscopio, se observa que la misma se debe a los depósitos de partículas de suciedad, sulfatos, etc., productos originados en la contaminación ambiental que se depositan en la superficie del material.

4.- ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE MORTEROS ENDURECIDOS

Se presentan a continuación una serie de estudios realizados según lo descrito en el punto 3 sobre morteros de asiento de ladrillos cerámicos como así también de revoques exteriores e interiores. Estos morteros corresponden a obras ejecutadas en Argentina en el área comprendida desde la ciudad de Santa Fe hasta Bahía Blanca en la Provincia de Buenos Aires durante distintos períodos históricos (desde el siglo XVIII hasta mediados del siglo XX.) En la Tabla 3 se informan en base a los resultados obtenidos las proporciones y el tipo de ligante empleado en los morteros.

El estudio de los morteros endurecidos se ha iniciado, en todos los casos, con una evaluación de la historia de la construcción a la cual pertenecen, tratando de datarlos en base a la documentación existente con la mayor aproximación posible. Esta situación permite evaluar los posibles ligantes empleados en su elaboración. Un aspecto en discusión y, tal vez, de muy difícil resolución es la datación de los morteros ya que ninguno ha dado hasta el momento resultados exitosos [8]. La datación empleando la correlación material-época puede ser una herramienta valiosa, recordando, sin embargo, que la misma puede conducir a errores ya que en todo proceso histórico existen etapas de

superposición de tecnologías. “In situ” se debe realizar una evaluación detallada de las patologías (fisuras, manchas, degradaciones, etc.) que presenta el mortero y seleccionar las áreas de muestreo.

Tabla 3. Estudios sobre morteros de edades diferenciadas

Siglo	Década	Mortero	Componentes (%)			CaO/ SiO ₂	P.C. (%)	Ligante/ árido	Ligante
			RI	CaO	SiO ₂				
XVIII	40	Asiento	72.0	12.9	2.2	5.9	10.2	1:4	Cal de baja hidraulicidad
		Revoque	68.5	15.4	1.5	10.3	13.2	1:4	
	80	Asiento	69.5	15.2	2.3	6.6	12.0	1:4	Cal aérea
		Revoque	67.9	17.1	0.8	21.4	12.8	1:4	
XIX	50	Revoque	75.3	9.9	1.2	8.2	15.5	1:8	Cal de baja hidraulicidad
		Revoque	74.5	13.3	2.4	5.5	12.2	1:6	
		Revoque	66.1	15.8	1.8	8.8	18.1	1:4	
	70	Revoque	74.5	15.8	2.1	7.5	9.6	1:5	
		Revoque	70.1	18.6	2.3	8.1	11.3	1:4	
		Revoque	72.3	16.5	3.2	5.2	11.2	1:4	
XX	40	Simil Piedra	56.5	27.2	9.2	2.9	15.1	1:2	Cemento
		Simil Piedra	56.2	28.6	8.5	3.4	15.2	1:2	
		Simil Piedra	41.8	40.1	12.3	3.3	15.2	1:1	
	10	Revoque	68.2	12.3	3.6	3.4	13.4	1:4	
	30	Revoque	40.5	19.7	4.3	4.6	12.2	1:1+	

+ El ligante empleado podría estar conformado por cemento pórtland más una parte de cal.

Con posterioridad, sobre la muestra disponible, se debe efectuar una observación visual y mesoscópica bajo lupa binocular para determinar el tipo de árido empleado, la distribución de poros y vacíos y la posible reacción entre la matriz y los áridos. Con la información obtenida “in-situ” y en laboratorio se analizan las patologías para encontrar las posibles causales de las mismas.

Para calificar al mortero tecnológicamente, es conveniente, si las dimensiones de la muestra lo permite, realizar ensayos físicos, como por ejemplo, absorción de agua por inmersión durante 24 horas, densidad saturada y superficie seca y calcular la porosidad como el volumen de agua absorbida en 24 horas dividido el volumen de material. Es conocido sin embargo que los ensayos físico-mecánicos, si bien caracterizan adecuadamente al material, en la mayoría de los casos su determinación está limitada por el inconveniente de obtener volúmenes adecuados de muestras para ejecutar los ensayos. A pesar de esta situación, algunas veces es conveniente realizar ensayos puntuales que si bien no verifican las dimensiones estipuladas en las normas pueden resultar útiles al momento de dosificar el mortero de reparación. En los últimos años se ha desarrollado, por ejemplo, una técnica interesante para evaluar la resistencia de pequeñas muestras de morteros antiguos, confinándolos en morteros nuevos [9].

Luego del ataque con ácido clorhídrico del mortero se debe realizar sobre el residuo insoluble que corresponde al agregado empleado un análisis mineralógico, determinando la distribución del tamaño de partículas (granulometría).

Para analizar el error que se comete en las determinaciones de las proporciones de morteros endurecidos de cal aplicando las expresiones antes

indicadas, se realizaron experiencias partiendo de morteros elaborados en laboratorio con arena sílico-feldespática de granulometría mediana (Modulo de Finura: 1.85) y ensayados a la edad de 120 días. En la Tabla 4, se indican las proporciones de los morteros estudiados y la determinación del residuo insoluble, el óxido de sílice y de calcio y la pérdida por calcinación. El mortero 2 fue elaborado por tres operarios distintos para determinar posibles variaciones en la composición de la mezcla final que puede originar una mano de obra diferencial. En la misma Tabla se informa la composición basada en el cálculo del ligante (expresión {2}) y el contenido RI.

Tabla 4: Composición real y calculada de morteros de cal y calculada

Mortero	Composición real	RI (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	P.C. (%)	Composición Calculada
1	1:3	75.3	0.9	12.7	11.4	1:2.7
2	1:4	81.6	0.8	9.9	9.2	1:3.8
2.1	1:4	80.1	0.9	10.1	9.2	1:3.8
2.2	1:4	79.6	0.9	10.8	8.6	1:4
3	1:5	84.5	0.8	8.0	7.5	1:3.8
4	1:6	84.2	0.7	8.1	7.3	1:5

De los resultados obtenidos surge claramente que la composición de los morteros se obtiene con un grado aceptable de aproximación, siendo los que poseen un mayor contenido de arena los que arrojan los mayores errores.

Observaciones realizadas sobre un mortero, correspondiente a un edificio de valor patrimonial del siglo XX, década del 50, se detecta que está constituido por una matriz en la cual se han incorporado fragmentos de ladrillos de diferentes tamaños (Ver Fotografía 2). Los fragmentos de ladrillos son incorporados a los morteros, prácticamente desde el imperio Romano, ya que por su naturaleza porosa hacen que los mismos sean más permeables al aire y permitan una adecuada carbonatación de la cal. En otros casos los ladrillos son finamente triturados incorporando este polvo al mortero debido a su reactividad puzolánica, que depende de las características de la arcilla y de la temperatura de cocción del ladrillo [10].



Fotografía 1: Se observan en el mortero los clastos de cuarzo del agregado fino rodeados por el material ligante.



Fotografía 2: Se visualiza en el mortero la matriz conformada por agregado fino, material ligante y fragmentos de ladrillos.

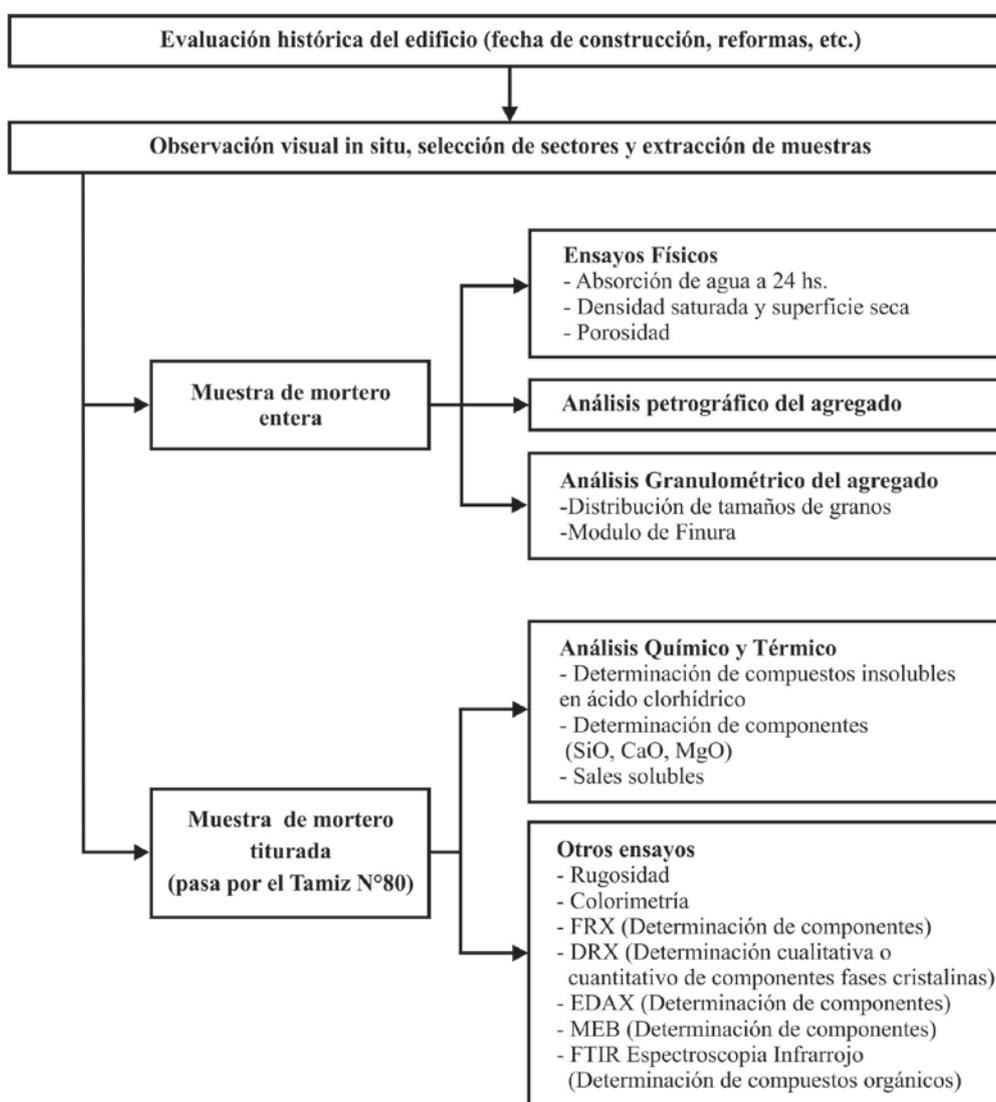
En la figura 1 se esquematiza un diagrama de evaluación de morteros endurecidos, que permite determinar las características de los mismos y las proporciones de los materiales constituyentes.

Complementariamente se realizaron experiencias para cuantificar la cantidad de sílice soluble que se determina cuando muestras de arena sílico-feldespáticas son trituradas a pasa Tamiz N° 80, verificándose que el porcentaje no es muy elevado, del orden de 1%. En la Tabla 5 se informan las experiencias desarrolladas sobre 2 muestras de arena que son las que habitualmente se han empleado en los morteros de cal.

Tabla 5. Sílice soluble en arenas sílico-feldespáticas trituradas

Arena	RI (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	P.C. (%)
1	93.7	0.9	----	0.3
2	96.3	1.1	----	0.2

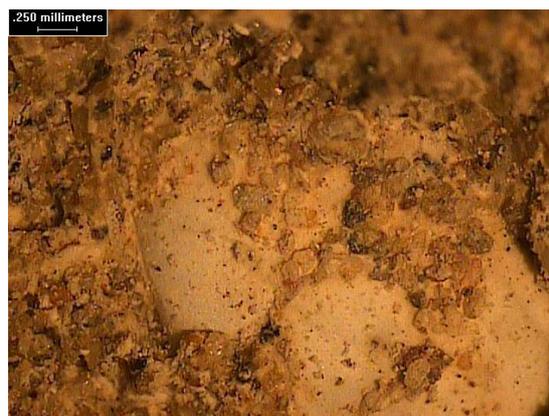
Figura 1. Diagrama de Evaluación de Morteros Endurecidos



En localidades ubicadas sobre el litoral bonaerense se observan morteros de asiento con porcentajes variables de conchillas, que por su forma se ubican en forma paralela a la superficie de contacto con el mampuesto. La naturaleza de la adherencia que se alcanza entre la matriz y los agregados se debe al entrecruzamiento mecánico que ocurre entre las irregularidades de los agregados y a la adhesión causada por fuerza van del Waals, entre los agregados y los productos de hidratación de la cal. A esta situación debe sumarse algunas reacciones químicas en la interface que podría contribuir al desarrollo de la resistencia. Experiencias desarrolladas muestran que en la superficie de fractura de ensayos de adherencia pasta-mármol (carbonato de calcio) se incrementa el desprendimiento de roca con la edad, lo cual estaría indicando en el caso de matrices cementíceas una reacción química con el sustrato de composición similar [11]. Esta situación podría estar indicando que en las conchillas, en el último caso una estructura mayoritariamente de carbonato de calcio, tendrás una adherencia de tipo mecánico que depende de la rugosidad de la valva y otra de tipo físico químico, sin embargo por razones de trabajabilidad no resulta conveniente la incorporación de porcentajes elevados de conchilla. En hormigones de cemento Pórtland este valor se encuentra limitado a un 30% en el caso de las arenas [12] (ver Fotomicrografía 1 y 2)



Fotomicrografía 1 Imagen del corte de un mortero. Se observa un fragmento de valva con adherencia mecánica a la matriz.



Fotomicrografía 2: Imagen del corte de un mortero. Se observan fragmentos de valva con adherencia mecánica y físico química a la matriz.

5.- CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a los estudios realizados sobre las muestras de morteros empleados para asientos de mampuestos o de revestimiento ejecutados en distintas etapas históricas, surgen que la composición potencial puede determinarse empleando la técnica del ataque con ácido clorhídrico y conociendo la pérdida en peso a 1000 °C. En caso de ser necesario definir el tipo de ligante empleado se debe realizar el análisis químico para determinar el porcentaje de óxido cálcico y de sílice. El mismo debe ejecutarse sobre la muestra pulverizada hasta pasar por Tamiz N° 80, ya que no es conveniente triturar el material hasta tamaños menores porque se pueden originar fuertes errores en la determinación de la sílice, debido a la acción solubilizante de los

reactivos alcalinos sobre las partículas silíceas procedentes de la pulverización de la arena. De acuerdo a las experiencias realizadas surge que en muestras trituradas hasta pasa Tamiz N° 80 un porcentaje mínimo de sílice se solubiliza, estimándose que para morteros de relación 1:3 el porcentaje de sílice es del orden de 0,5 – 1,5 %.

De las experiencias surge un posible diagrama de evaluación tendiente a determinar sus características tecnológicas en especial sus proporciones y tipo de ligante. Esta situación es particularmente válida cuando se necesita reparar o restaurar edificios de valor patrimonial, por lo cual debe conocerse el material empleado para tratar que el que se utilizará en las reparaciones tenga propiedades similares en las proporciones, coloración, rugosidad, etc.

Al momento de la dosificación de los nuevos morteros para la reparación debe tenerse en cuenta que los morteros existentes han sufrido alteraciones atribuidas al envejecimiento y a la contaminación atmosférica, por lo cual pueden haber variado la tonalidad original y en algunos casos sus propiedades resistentes (cohesión). Por consiguiente antes de ejecutar los nuevos morteros, debe realizarse pruebas para verificar y seleccionar aquellos que se aproximen más a la tonalidad y al aspecto superficial, ejecutando ensayos complementarios como por ejemplo calificar el color y la rugosidad superficial.

Debe señalarse la importancia que requiere la toma de muestras en los estudios de morteros antiguos, etapa que debe realizarse con posterioridad a una inspección visual profunda que permite conocer la dispersión del material y también definir la cantidad de muestras a tomar. También, es importante una descripción del material, fundamentalmente la tipología, las características de cohesión que presenta y el estado de conservación que indicará si la muestra se encuentra alterada por algún tipo de patología.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al personal de las Áreas Patrimonio, Mineralogía y Química Analítica del LEMIT por la colaboración y participación en la realización de los ensayos.

REFERENCIAS

- [1] Alvarez Galindo, J.I., Pérez, A.M., Garcia 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] Magadan, M.L. Revoques simil piedra. Pautas para su conservación y restauración. 1era Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio" Editado en CD 16 de Septiembre 2002.
- [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.

- [8] Alvarez Galindo J.I., Ontiveros Ortega E., Programa de Normalización de estudios previos aplicados a bienes inmuebles. Cap. Morteros. PH Cuadernos 19. Editor Junta de Andalucía, Conserjería de Cultura. España. 2006, pp. 92-145
- [9] Magalhaes, A., Veiga, R., Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación. Materiales de Construcción, Julio-Septiembre 2009, Vol. 59, 295, pp. 61-77.
- [10] Alvarez Galindo J. I., Perez A. M. y Garcia Casado P. G. Historia de los morteros. Boletín informativo IAPH, 13. 1999. pp 52-59.
- [11] Giaccio, G., Giobambattista, A. y Zerbino, R. Adherencia en las interfaces agregado matriz. Revista Hormigón N° 18. Enero – Junio 1990. pp 13-19
- [12] CIRSOC-201 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón Armado. Edición INTI 2005