

MAMPOSTERIA DE LADRILLOS: CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y REFUERZO

Bértora, M.A., Lima, Luis J., Traversa, L.P.

LEMIT – Calle 52 e/121y122 – 0221-4831142/44 – direccion@lemit.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se informan los ensayos de caracterización estructural de mamposterías de ladrillos cerámicos (determinación de resistencia de rotura a compresión y módulo de elasticidad) correspondientes a muestras extraídas de un estribo de un puente ferroviario, construido hacia 1880, ubicado en ambiente rural y de una torre de iglesia edificada alrededor del año 1750, ubicada en ambiente urbano. Se realiza, además, el cálculo teórico del módulo de elasticidad a partir de las expresiones indicadas en el CIRSOC 501 "Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería" y se lo compara con los valores experimentales.

Complementariamente, se muestran resultados de ensayos realizados sobre dinteles de mampostería elaborados para determinar el incremento de resistencia que pueden experimentar al ser reforzados con láminas de fibras de carbono. Estas experiencias tienen como objetivo conocer el comportamiento del refuerzo cuando resulta necesaria la ejecución de aberturas en muros de mampostería de ladrillos debido a trabajos de refuncionalización de la construcción.

1- INTRODUCCION

La mampostería de ladrillos cerámicos está formada por elementos cerámicos de reducidas dimensiones, unidos por morteros de cal y / o cemento con arena. Los muros de mampostería de ladrillos deben ser considerados fundamentalmente como un material compuesto constituido por los mampuestos cerámicos, el mortero de asiento y la interfase entre ambos materiales. En el caso de muros con revoques, la complejidad del sistema se incrementa al aparecer nuevos materiales y, fundamentalmente, nuevas interfaces. Debe recordarse que en los materiales compuestos la zona de interfase es la de mayor complejidad y en los materiales en los cuales uno de los componentes es de origen cementíceo, esta zona presenta las características más débiles debido a su alta porosidad.

Todo material es diseñado partiendo de dos conceptos fundamentales: Resistencia y Durabilidad. El concepto de resistencia de un material se vincula con su capacidad para soportar los esfuerzos que origina el funcionamiento estructural y la durabilidad (capacidad de duración según el Manual Americano de la Construcción, edición 1952), es la capacidad para

resistir hasta cierto punto los efectos de las condiciones de servicio a que estará sujeto (meteorización, acción química, desgaste, etc.).

La falta de definición explícita de la vida útil prevista para las construcciones, parece estar vinculado fuertemente con la creencia que las mismas son construidas para una vida ilimitada. La existencia de edificación con siglos de vida parece justificar este concepto. Sin embargo, en todos los casos, la vida del edificio es función directa de la durabilidad de los materiales con los cuales está ejecutada, cuando la misma no tiene problemas o patologías originadas en diseños inadecuados, que conducen a roturas previas por sobrecargas excesivas o usos no adecuados.

Es conocido que los ladrillos cerámicos presentan distintos procesos y grado de alteración a través de su vida en servicio. El deterioro y la pérdida de consistencia se acentúan por el aumento de la porosidad secundaria desarrollada a partir de la porosidad primaria obtenida durante su elaboración. Esta porosidad se desarrolla como consecuencia de la exposición ante los agentes climáticos a que esta sometido, siendo la humedad ascendente y la circulación de agua de origen pluvial los principales agentes degradantes.

Entre los principales tipos de mortero empleados como mezcla de asiento pueden mencionarse:

Morteros de Cal: Este mortero que puede considerarse como el más antiguo, se obtiene con arena y cal, en una relación aproximadamente de un volumen de cal por tres de arena. Los primeros hornos de cal se construyeron en la Mesopotamia en el 2500 A.C. En la Argentina, la cal fue primero importada y, con posterioridad, elaborada en Córdoba o Magdalena, debiendo citarse algunos hornos en la Región de La Plata.

En el horno de cal tiene lugar el proceso de descarbonatación de la piedra caliza en óxido de calcio (Cal viva) y dióxido de carbono. Para apagar la cal se agrega agua, formándose hidróxido de calcio. Este material es el que se coloca en obra y al reaccionar con el anhídrido carbónico del aire, se regenera la caliza de origen, adquiriendo lentamente resistencia. Esta cal se denomina aérea porque necesita el dióxido del aire para fraguar.

Si la piedra caliza que da origen al proceso contiene impurezas (sílice, aluminio, hierro), en el horno se generan aluminatos y silicatos similares a los del cemento portland. Este tipo de cal se denomina hidráulica.

Morteros de cemento: Este mortero se obtiene con cemento portland y arena; sin embargo, son morteros demasiados resistentes para los usos de albañilería, presentando una alta contracción por secado, lo que puede originar fisuras. La trabajabilidad de este tipo de morteros puede incrementarse con la adición de limos o arcillas, que lubriquen las partículas.

Morteros de cemento y cal: Estos morteros reúnen las ventajas de los dos indicados anteriormente, o sea trabajabilidad y alta resistencia.

Los muros ejecutados con mampuestos cerámicos comunes pueden presentar a lo largo de su vida distintas patologías originadas en su diseño y a la durabilidad de los materiales empleados, y particularmente, del conjunto ladrillo-mezcla de asiento-revoque.

Como consideración final, puede plantearse que tanto el comportamiento estructural de la mampostería como su durabilidad dependen del conjunto y no de sus materiales constitutivos. Este comportamiento es similar al de todo material compuesto, en el cual sus debilidades se

encuentran fundamentalmente dadas por las características de alguno de sus componentes y por la de la interfase entre los mismos [1].

2- CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE MAMPOSTERIAS

Considerando que en algunas circunstancias particulares, como en aquellas vinculadas con la reparación y / o restauración de muros de mampostería ejecutados con ladrillos cerámicos comunes resulta necesario conocer su comportamiento estructural, particularmente la resistencia de rotura a compresión y el módulo de elasticidad longitudinal, se realizaron experiencias sobre muestras correspondientes a dos estructuras diferenciadas, tanto por su edad y medio ambiente de exposición como así también y fundamentalmente, por la tecnología involucrada en su ejecución.

a) Torre de una Iglesia (Circa 1750)

Las muestras estudiadas presentan formas irregulares y están conformadas por tres hiladas de ladrillos unidos con mortero de cal y arena silíceo. Debe mencionarse que en algunos de los sectores de las juntas, se observa la falta de mortero en especial en las juntas verticales.

El análisis visual indica claramente que el mortero se encuentra fuertemente degradado, situación atribuible por los sectores de la torre en que fueron extraídos a la acción del tiempo. En algunos de los ladrillos se observan, también, fisuras.

Características del ensayo: Se realizó el ensayo de rotura a compresión sobre dos testigos de forma irregular (ver Figura 1), extraídos manualmente, mediante picado, de una de las torres de la Iglesia. Debe mencionarse que experiencias realizadas para la extracción de las muestras con broca diamantada condujo a la disgregación del material, lo cual indica el estado de alteración que presentaba en particular el mortero de asiento.

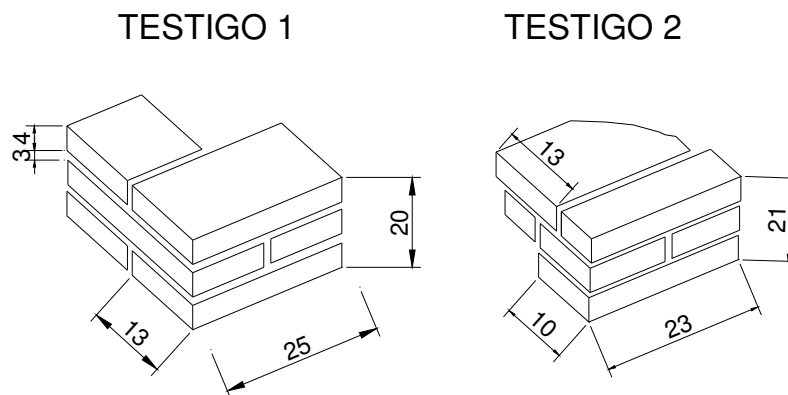


Figura 1. Características geométricas de los testigos

Se determinó la resistencia de rotura a la compresión y se calculó el módulo de elasticidad de acuerdo a lo estipulado en el CIRSOC 501 [2], teniendo en cuenta un factor de corrección por esbeltez de 0.60. El ensayo se realizó en una prensa Istron de 1000kN de capacidad, (ver Fig. 2).



Figura 2. Ensayo a Compresión de Testigo de mampostería

Resultados obtenidos: En la Tabla 1, se indican los resultados obtenidos en las experiencias, informando la resistencia de rotura por compresión (f_m), el coeficiente de corrección por esbeltez (CIRSOC-501) (d), el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente (E_{exp}), el módulo de elasticidad calculado ($E_{CIRSOC-501}$) y relación $E_{CIRSOC-501}/E_{exp}$ (K). La resistencia de rotura informada corresponde al promedio de las determinaciones realizadas.

Con respecto al valor de resistencia determinado sobre la mampostería, debe recordarse que en la empleada en la fundación de las torres de la Catedral de La Plata en 1898 se obtuvo experimentalmente durante el año 1990 una resistencia del orden de 4.0Mpa, empleando ladrillos ejecutados en el área de la Plata de resistencia media del orden de 9.7Mpa y una mezcla de asiento compuesta por 1 parte de cal y 5 ó 6 partes de agregados (arena, polvo de ladrillo y conchilla) [3].

En el caso de la torre de la iglesia en evaluación la mezcla de asiento tiene características originales similares en cuanto a la compresión y a la resistencia media de los ladrillos que es del orden de 11.4Mpa.

Tabla 1. Característica estructural de muros de mampostería

Obra	Año	f_m (Mpa)	d	E_{exp} (Mpa)	$E_{CIRSOC-501}$ (Mpa)	K
Torre Iglesia	1750	1.8	0.60	--	905	--
Estribo puente	1880	10.2	0.83	2247	7225	3.2

b) Estribo de puente ferroviario (Circa 1880)

La muestra evaluada corresponde a un trozo de mampostería extraído de un estribo de puente ferroviario construido en la zona rural próxima a la ciudad de La Plata, en los años 1880.

Características de los ensayos: Los ensayos fueron realizados sobre un testigo prismático de mampostería de ladrillos de sección transversal rectangular de 14cm x 28.5cm y esbeltez 2.5. La muestra está ejecutada con ladrillos industrializados asentados con un mortero de cal, cemento y arena sílicea con abundante porcentaje de conchillas.

Se determinó la resistencia de rotura a compresión y el módulo de elasticidad, el cual fue comparado con el valor calculado a partir de la expresión matemática del CIRSOC 501.

Los ensayos se realizaron en la prensa Instron de 1000kN de capacidad. Para poder medir las deformaciones se utilizó un extensómetro tipo clip en una de las caras y en la opuesta un LVDT, además se registraron los valores correspondientes al desplazamiento de la máquina de ensayo. Para la determinación del módulo de elasticidad se graficaron las curvas tensión/deformación correspondientes a los tres extensómetros y se determinaron las pendientes de dichas curvas, para la fase de comportamiento “elástico”, obteniéndose una buena concordancia (baja dispersión).

Resultados obtenidos: Siguiendo el mismo procedimiento que para la mampostería de la iglesia se determinó la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad experimental y el calculado. En la Tabla 1 se indican los resultados de las muestras en forma comparativa, y en la Fig. 3 se muestran las curvas tensión/deformación correspondientes a los 3 extensómetros empleados.

El diagrama tensión / deformación presenta como característica particular que pareciera existir una primera etapa en la cual el material se deforma bajo el esfuerzo de compresión sin un incremento significativo del mismo. Con posterioridad, adopta un desarrollo similar al de los materiales compuestos del tipo del hormigón de cemento portland. La respuesta obtenida en el ensayo es similar a la de los hormigones que han sufrido un proceso de fatiga [4], lo cual puede deberse a ciclos de carga y descarga que ha sufrido el estribo a lo largo de su vida útil, lo cual conduce a una microfisuración. Además debe considerarse en este comportamiento la alteración por envejecimiento de los morteros de asiento.

El módulo de elasticidad determinado experimentalmente es sensiblemente menor al calculado de acuerdo al CIRSOC 501. El Reglamento considera que la expresión matemática ($E_m = 850 f'_{n.d}$) es válida para mamposterías nuevas ejecutadas con ladrillos cerámicos y morteros de cal. En el presente caso, la diferencia obtenida se vincula fuertemente con la calidad de los ladrillos cerámicos (baja resistencia media unida a una alta dispersión) y fundamentalmente, por la degradación del mortero cementíceo empleado en las juntas.

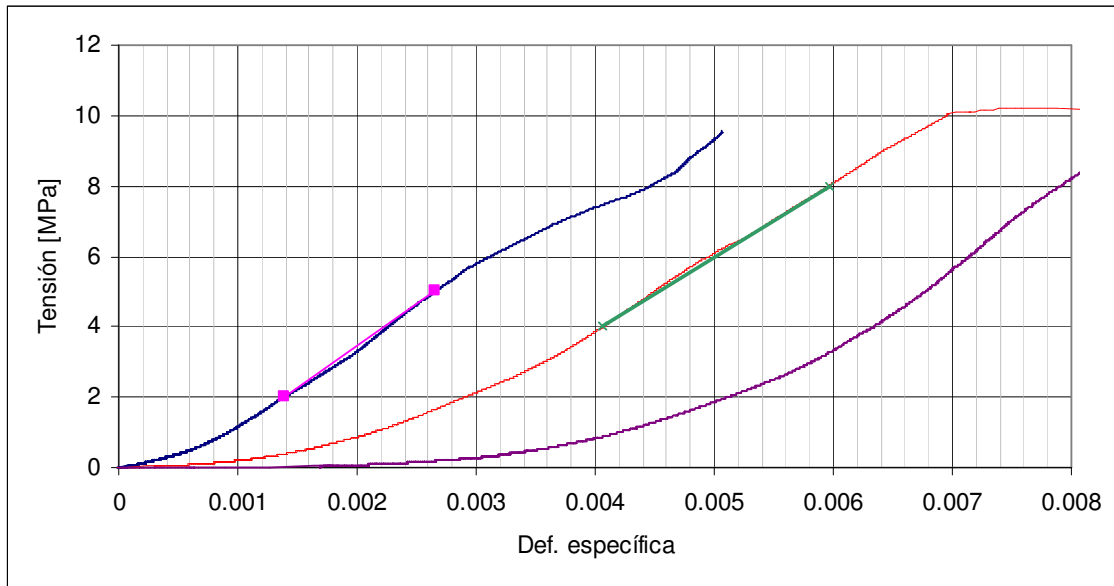


Figura 3. Curva Tensión-Deformación medida por los extensómetros

3- REFUERZO DE DINTELES DE MAMPOSTERÍA CON LAMINAS DE FIBRAS DE CARBONO

Se realizaron ensayos sobre prototipo de muros de mampostería con la finalidad de obtener un procedimiento constructivo adecuado para ser utilizado en la refacción de edificios existentes, cuando es necesario ejecutar aberturas en muros existentes. Si bien existen otras tecnologías alternativas, se consideró que el empleo de láminas de fibras de carbono es una técnica que puede conducir a resultados satisfactorios en cuanto a la facilidad, limpieza del procedimiento y a que puede ejecutarse previamente a la abertura del muro [5].

Características del ensayo: Se confeccionaron elementos de mampostería de ladrillos cerámicos comunes y mezclas de asiento ejecutadas con cal reforzadas con cemento (Fig. 4).



Figura 4. Dinteles de mampostería utilizados

Las fibras de carbono utilizadas para el refuerzo tienen una resistencia a la rotura de 4275 MPa y un Módulo de Elasticidad de 228000MPa .

En la Figura 5 se indican las distintas modalidades de los refuerzos utilizados. El ensayo se realizó en una prensa Instron de 1000kN de capacidad, con cargas puntuales en los tercios de la luz, se registró la carga que provocó el colapso de cada elemento.

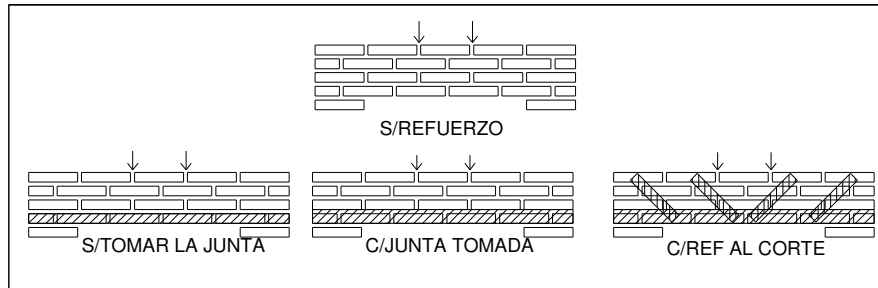


Figura 5. Características de los refuerzos de fibra de carbono

Resultados obtenidos: En la Tabla 2 se indican los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de los dinteles de mampostería, indicando en cada caso la altura h de la sección transversal, la carga de rotura N_u y la relación existente con el elemento sin refuerzo.

Tabla 2. Resultados de los ensayos

Características	h [m]	N_u [Kg]	Prom.[Kg]	Ref/Sin Ref
SIN REFORZAR	0.25	95.4	225	0.1
	0.25	355		
1 CAPA lat (1hilada)	0.27	1335	1313	0.6
	0.26	1290		
1 CAPA lat (2hiladas)	0.23	2124	2574	1.1
	0.23	3023		
1 CAPA lat (2hiladas)+CORTE	0.25	3911	3783	1.7
	0.265	3655		

Nota: 1Kg \approx 10N

Como puede observarse en la Tabla 2 y en la Figura 6, el incremento de resistencia obtenido para los dinteles reforzados con bandas laterales de fibras de carbono es muy significativo, con lo cual puede plantearse que la técnica resulta efectiva. Debe recordarse que las experiencias fueron realizadas con mamposterías ejecutadas con materiales que cumplen la normativa respecto a sus calidades.

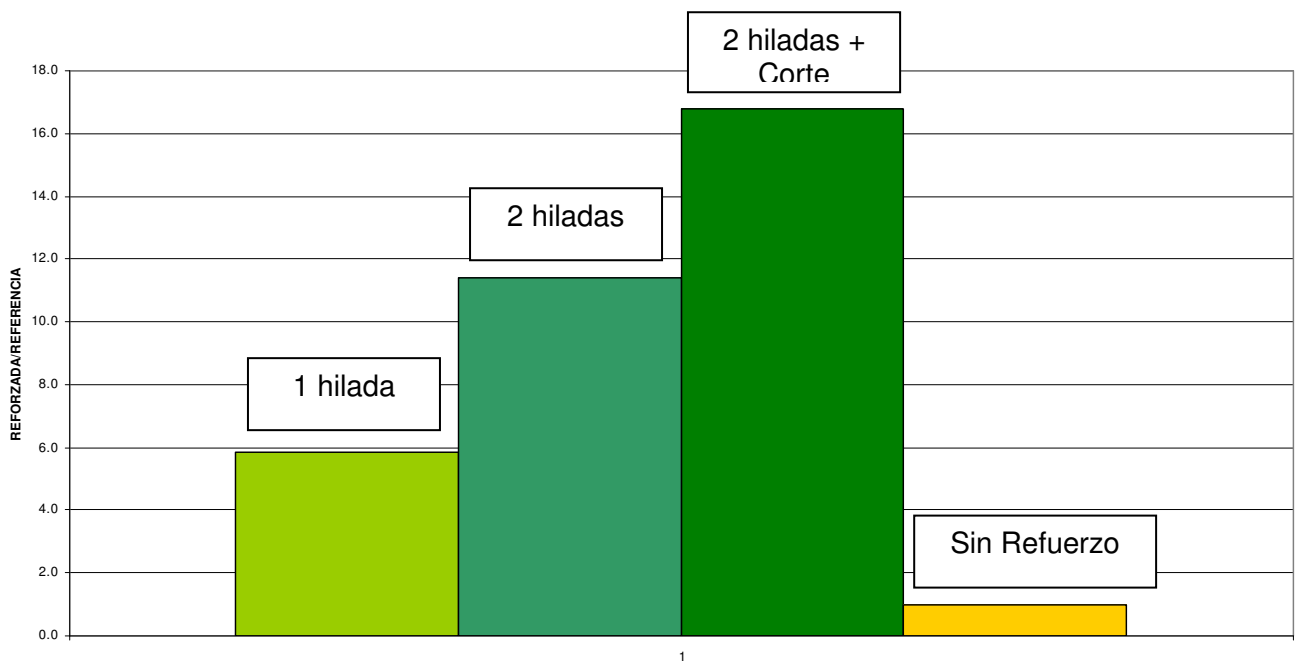


Figura 6. Relación entre la resistencia de los dinteles reforzados y sin reforzar

4- CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a las experiencias realizadas, surge claramente que:

- a) Cuando se desea evaluar el módulo de elasticidad de mamposterías existentes, con un significativo grado de deterioro, ya sea de los ladrillos cerámicos comunes y / o de los moteros de asientos, se debe tratar de realizar la determinación experimental. La estimación del módulo de elasticidad a partir de la expresión matemática indicada en el CIRSOC-501 puede conducir a errores significativos, ya que la fórmula que vincula el módulo con la resistencia corresponde a mamposterías ejecutadas con materiales que no presenten degradación.
- b) El refuerzo de mamposterías de ladrillos cerámicos asentados en morteros con láminas de fibras de carbono es una alternativa tecnológica de interés cuando resulta necesario realizar aberturas en muros existentes. El incremento de resistencia a flexión con carga a los tercios de la luz resulta significativo y depende fundamentalmente del número de hiladas de ladrillos que son afectadas y si se colocan refuerzos para tomar las tensiones de corte. Debe recordarse que esta técnica puede emplearse reforzando el muro de mampostería previa a la realización de la abertura.

5- REFERENCIAS

- [1] TRAVERSA, L.P. "MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS CERÁMICOS COMUNES. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS, DURABILIDAD Y TÉCNICAS DE REPARACIÓN". II Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio". LEMIT, La Plata, Setiembre 2003. En CD
- [2] CIRSOC 501. "PROYECTO DE REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA", Diciembre de 2005.

[3] IGOLNIKOW R. "ASPECTOS ESTRUCTURALES DE LA CATEDRAL DE LA PLATA Y DE SU COMPLETAMIENTO" Revista Hormigón N°35- Enero-Junio 2000.

[4] NEVILLE, A.M. "PROPERTIES OF CONCRETE" Fourth edition. Pearson Education.

[5] LIMA L.J., BERTORA, M.A., TRAVERSA L.P., COMELLI, A "REFUERZO DE MAMPOSTERÍA CON LAMINAS DE FIBRAS DE CARBONO" enviado a las XIX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Mar del Plata 2006