

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXI Jornada de Pesquisa

## **MODELACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS POR MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS<sup>1</sup>**

**Franchini Andrea Belén<sup>2</sup>, Prytz Nilsson Gustavo Gabriel<sup>3</sup>, Duarte Javier Alberto<sup>4</sup>, Reinert Hugo Orlando<sup>5</sup>, Detke Fernando Rubén<sup>6</sup>.**

<sup>1</sup> Proyecto de Investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina, andreabelen30@gmail.com

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina, gustavogabrielmisiones@gmail.com

<sup>4</sup> Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Jaduarte66ar@yahoo.com

<sup>5</sup> Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. hugoreinert@gmail.com

<sup>6</sup> Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. detke@fio.unam.edu.ar

### **INTRODUCCIÓN:**

La construcción de viviendas sociales en la Región Nordeste del País, y particularmente la Provincia de Misiones, es frecuentemente materializada mediante el uso de ladrillos cerámicos huecos de fabricación industrializada. Atendiendo a que en la actualidad no se cuenta con registros del comportamiento mecánico de estos mampuestos, el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, encara un proyecto de investigación tendiente a estudiar su respuesta ante acciones tanto en forma individual como en tabiques componentes de las mencionadas viviendas.

En este marco propuesto, el presente trabajo de investigación pretende diseñar un modelo estructural mediante el Método de Elementos Finitos, que evalúe las respuestas, ajustando las variables a través de los datos obtenidos durante ensayos a compresión.

### **METODOLOGÍA:**

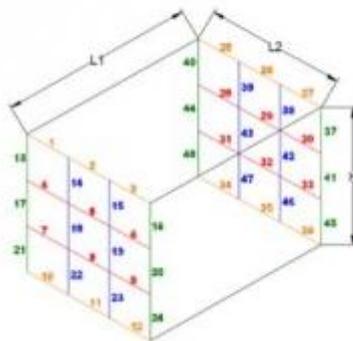
En una primera instancia, se modelaron distintos tipos de ladrillos cerámicos huecos, ajustando el modelo a los datos geométricos y mecánicos obtenidos en ensayos de laboratorio. En este informe se ha detallado el proceso de modelado de un ladrillo cuyas dimensiones son 18x18x24 cm, con paredes gruesas.

En la Tabla 1 se representan las características geométricas del ladrillo utilizado en el modelo.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXI Jornada de Pesquisa

Tabla 1: Designación y promedio de espesores de los tabiques del mampuesto [mm]



	<i>Pared exterior izquierda</i>	<i>Pared exterior derecha</i>	<i>Pared interior izquierda</i>	<i>Pared interior derecha</i>
<i>Valores que contempla</i>	12-17-21-40-44-48	16-20-24-37-41-45	14-18-22-39-43-47	15-19-23-38-42-46
<i>Sumatoria</i>	72,72	71,52	74,75	71,59
<i>Espesor Promedio</i>	12,12	11,92	12,46	11,93
	<i>Pared exterior izquierda</i>	<i>Pared exterior derecha</i>	<i>Pared interior izquierda</i>	<i>Pared interior derecha</i>
<i>Valores que contempla</i>	1-2-3-25-26-27	4-5-6-28-29-30	7-8-9-31-32-33	10-11-12-34-35-36
<i>Sumatoria</i>	69,50	74,07	76,72	68,61
<i>Espesor Promedio</i>	11,58	12,35	12,79	11,44

El ladrillo con las características antes mencionadas se ha sometido previamente al ensayo de compresión, obteniéndose los registros presentados: en la Figura 1 la rampa de carga, y en la Figura 2 la Curva Tensión-Deformación.

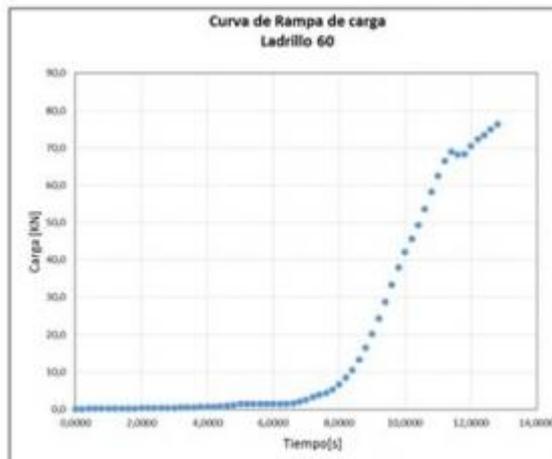


Figura 1: "Rampa de carga: Carga [kN] - Tiempo [s]"

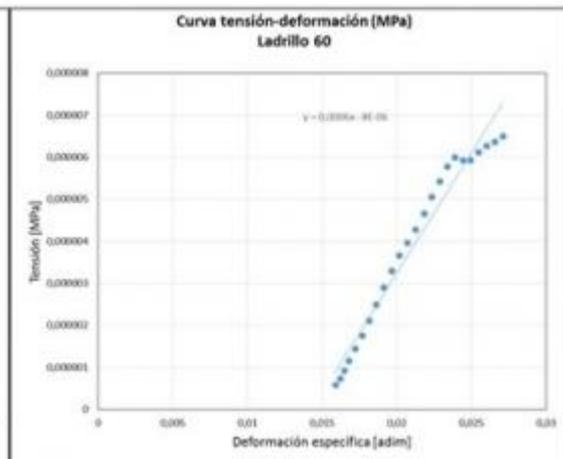


Figura 2: Curva Tensión [MPa]-Def. [adim]

A partir de los datos del ensayo, el módulo de elasticidad se ha obtenido mediante la pendiente de una línea de tendencia trazada con la curva Tensión-Deformación. Dicho valor se ha utilizado para definir los parámetros E1 y E3 del material dentro del software, debido a que el ladrillo tiene similares dimensiones tanto en su altura como su ancho. Para la dirección longitudinal del ladrillo (E2) se ha considerado el doble del utilizado en las demás direcciones, para configurar de forma preliminar el modelo computacional, hasta que se obtengan resultados de laboratorio para este parámetro.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXI Jornada de Pesquisa

El Módulo de Corte se ha adoptado conforme al “Reglamento Cirsoc 501 para Estructuras de Mampostería” mediante la siguiente ecuación:  $G_m = 0.30 \times E_m$  ; Siendo:  $G_m$ : Módulo de Corte;  $E_m$ : Módulo de elasticidad longitudinal.

Si bien la bibliografía plantea la expresión del Módulo de Corte para un lote de ensayos, se ha decidido utilizarla para un único ensayo, a fin de obtener un valor aproximado para comenzar a calibrar el modelo de forma aproximada.

Diseño del modelo:

Se ha utilizado como herramienta un software denominado “SAP2000 v14.2.0 Advanced”, que realiza el análisis por Elementos Finitos.

Una vez definida la geometría conforme los datos presentados en la Tabla 1, se han graficado 32 puntos en el software, 16 por cada cara del ladrillo, correspondientes a los vértices del mismo, y las intersecciones entre tabiques y paredes. Seguidamente, se establecieron elementos de área para unir dichos puntos, simulando cada una de las paredes antes señaladas.

El material, denominado LCH (Ladrillo hueco cerámico), en el software resulto definido como material tipo: “Otro” con características ortotrópicas, al cual se le han asignado los valores de Módulo de Elasticidad, así como los módulos de Corte establecidos previamente. Los valores del Coeficiente de Expansión Térmica aún no han sido tomados en cuenta.

Además, se ha analizado al material como “No Lineal”, tipo de histéresis: Takeda. Los parámetros de Druker-Prager: se ha considerado un Ángulo de Fricción de  $7^\circ$  y un Ángulo de Dilatación de  $15,5^\circ$ .

Se han definido puntos característicos la curva tensión-deformación para el material, tomando el valor máximo y el mínimo de la línea de tendencia antes mencionada.

Para definir la sección, se ha optado por seleccionar la opción “Shell-Thin”.

Además, se ha utilizado la herramienta de restricciones de borde “AssignEdgeConstraints” para compatibilizar las deformaciones de todos los elementos del mampuesto.

En cuanto a los vínculos del mampuesto, se han asignado elementos de área tipo resortes “springs” a la cara horizontal inferior del ladrillo, con el objetivo de simular el comportamiento de la placa de acero sobre la que se asienta el mampuesto durante el ensayo con la prensa. En la dirección normal a las cargas se ha colocado un coeficiente de  $10.000 \text{ kgf/cm}^2$  únicamente de Compresión, y en la dirección paralela, un valor de  $100 \text{ kgf/cm}^2$  que restrinja esfuerzos de Tracción y Compresión.

Por otra parte, se ha definido una carga en función del tiempo “Time History”, la cual se corresponde con lo detallado en la Figura 1(a), con un análisis de tipo “No lineal” con “Integración directa”.

Conforme las formas de aplicación de las cargas se han definido dos modelos:

-Modelo C1: Carga uniformemente distribuida en la cara superior del ladrillo. Se ha aplicado un factor para la carga “Time History” con el fin de transformar la serie de valores de la rampa de carga a la superficie de contacto, con una carga del tipo UNIFORM SHELL, orientada en el eje Z negativo, simulando la prensa del ensayo.

-Modelo C2: Carga uniformemente distribuida en correspondencia con la longitud superior de los tabiques verticales. Definida de la misma forma que en el Modelo C1 con tipo de carga lineal.

**RESULTADOS Y OBSERVACIONES:**

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXI Jornada de Pesquisa

Para el análisis de los resultados se considero el acortamiento del mampuesto en una de sus caras exteriores [Puntos superior (A) e inferior (B)], considerado el mismo lugar donde se ha colocado el flexímetro durante el ensayo, cuyo valor final resultado: Acortamiento en el ensayo: 4,703 mm  
 En la Figura 3 y Tabla 2 se muestran las deformaciones que se han obtenido en ambos modelos.

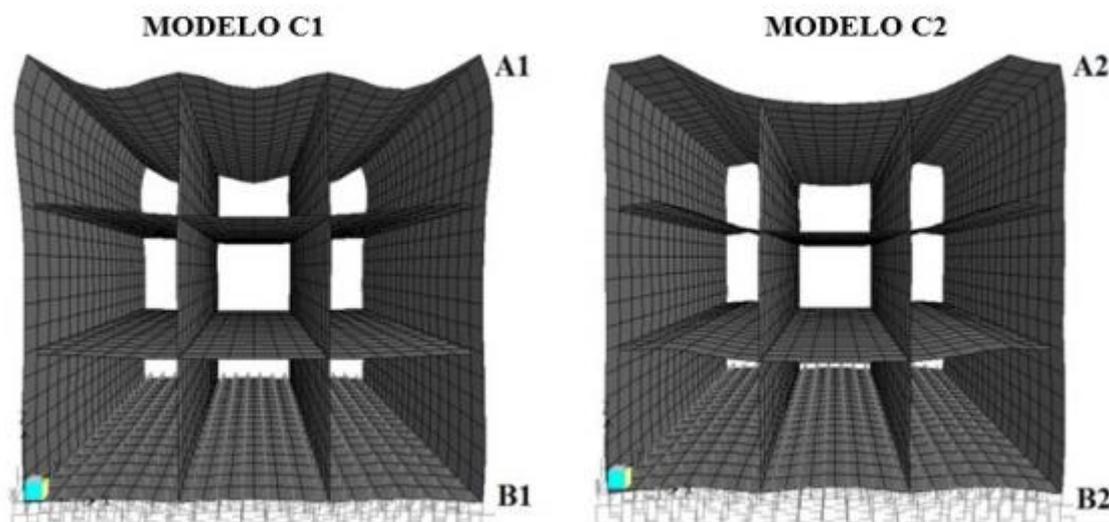


Figura 3: Deformación del Ladrillo e identificación de puntos de control

Tabla 2: Deformaciones y Acortamiento en ambos modelos

Modelo C1	Deformación superior - A1 [mm]	-0,7741
	Deformación inferior - B1 [mm]	-0,0904
	Acortamiento [mm]	-0,6837
Modelo C2	Deformación superior - A2 [mm]	-7,2727
	Deformación inferior - B2 [mm]	-0,8106
	Acortamiento [mm]	-6,4621

El acortamiento, para el modelo C1, es sustancialmente menor que el valor observado en el flexímetro. Sin embargo, la deformada contempla el efecto de pórtico observándose una sola curvatura hacia abajo de las placas horizontales del ladrillo.

En el mampuesto del modelo C2, el acortamiento resultante es levemente mayor que el experimental. La deformada también presenta el efecto de pórtico, pero con doble curvatura en las placas horizontales la que responde de mejor manera a lo observado en el ensayo.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXI Jornada de Pesquisa

#### CONCLUSIÓN:

Se logró la comparación de dos modelos desarrollados en software de elementos finitos, con un ensayo experimental, obteniéndose resultados aceptables.

El modelo que mejor reproduce el comportamiento del mampuesto en el ensayo es el C2, ya que la energía acumulada durante el proceso de carga se consume en deformar la estructura resistente del ladrillo. Mientras que en el modelo C1, gran parte de esa energía se gasta en deformar solamente la placa superior de aplicación de carga.

Se deberá continuar con la calibración del modelo computacional hasta determinar una configuración para ajustar en mejor medida los resultados. Para ello se debiera de registrar los datos geométricos y mecánicos de una mayor cantidad de mampuestos para que los parámetros configurados y los resultados sean más representativos.

#### PALABRAS CLAVE:

Tijolo - Elementos Finitos – Encurtamento - Características geométricas y mecánicas

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Mampostería no reforzada bajo carga axial y Horizontal con desplazamiento controlado - Nelson D. Agüera, Miguel E. Tornello, Carlos D. Frau. – Asociación Argentina de Mecánica Computacional - Mecánica Computacional Vol XXXII, págs. 777-791 (artículo completo) Carlos G. García Garino, Aníbal E. Mirasso, Mario A. Storti, Miguel E. Tornello (Eds.) Mendoza, Argentina, 19-22 Noviembre 2013

Modelación numerica de mamposteria reforzada

Con materiales compuestos - Viviana C. Rougier, y Bibiana M. Luccioni

Análisis no lineal de muretes armados ensayados a compresión diagonal – Jorge Gonzalo Rosas Rodríguez. Universidad privada Boliviana. Investigación y Desarrollo, No. 4:27-44(2004). ISSN 1814-6333.

INTI - CIRSOC 501. Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería. Edición Julio 2007

Cálculo del Comportamiento de la Mampostería Mediante Elementos Finitos – J. López, S. Oller, E. Oñate – Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería. Monografía CIMNE N°46, Diciembre 1998.