



SIMULACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS¹

Andrea Belén Franchini²; Gustavo Gabriel Prytz Nilsson³; Javier Alberto Duarte⁴; Hugo Orlando Reinert⁵; Fernando Rubén Detke⁶

¹Trabajo de Investigación

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

³Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina, gustavoprytznilsson@gmail.com

⁴Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. , Jaduarte66ar@yahoo.com

⁵Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. , hugoreinert@gmail.com

⁶Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. , detke@fio.unam.edu.ar

Resumen

En la Región Nordeste del País, la construcción de viviendas sociales se realiza mediante el empleo de ladrillos cerámicos huecos de fabricación industrializada. Particularmente en la Provincia de Misiones, se emplean estos ladrillos sin un adecuado registro de sus propiedades mecánicas, dado que se los emplea como elementos más bien de cerramiento, si su consideración como elementos portante significativo. El Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, ha iniciado desde el año 2014 estudios tendientes a cubrir el desconocimiento actual de temática. Como parte de ello, en el presente trabajo se aborda el análisis comparativo entre un ensayo de resistencia a la compresión simple de un mampuesto en laboratorio, y su modelación en un software de elementos finitos, a fin de lograr reproducir un modelo computacional que sirva de base para futuros trabajos de modelación de un conjunto de mampuestos. Se analizaron dos formas de incorporación de las cargas en el modelo, y se compararon los acortamientos medidos en laboratorio y presentados como resultados del modelo. Se logro un modelo que se ajusta bastante a la forma de falla observada en laboratorio (por efecto pórtico), aunque las medidas de deformación o acortamiento comparadas, denotan aun diferencias. Se pretende continuar con las investigaciones, apuntando a un mayor registro de ensayos para calibrar en mejor medida la variables geométricas y materiales de los modelos considerados.

Ladrillo - Elementos Finitos - Acortamiento



Palabras Clave:

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 de un ladrillo cerámico hueco, ajustando las variables a través de los datos obtenidos de ensayos a compresión simple realizados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M.

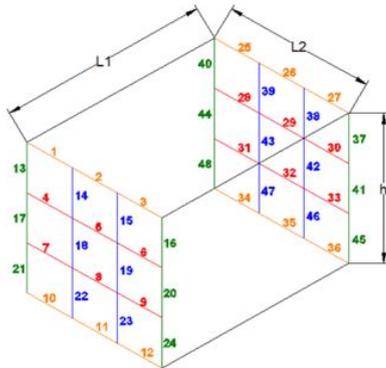
Metodología

Como parte integral del proyecto de investigación, se modelaron distintos tipos de ladrillos cerámicos huecos, y se han ajustando los modelos a los datos geométricos y mecánicos obtenidos en ensayos de laboratorio.

Para el caso puntual del presente trabajo se ha llevado a cabo el proceso de modelado de un ladrillo cuyas dimensiones son 18 x18 x 24 centímetros, de 9 agujeros y paredes gruesas.

En la Tabla 1 se representan las características geométricas del ladrillo utilizado en el ensayo de laboratorio, y luego en la elaboración del modelo computacional.

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 1a) la rampa de carga, y en la Figura 2 la Curva Tensión-Deformación.

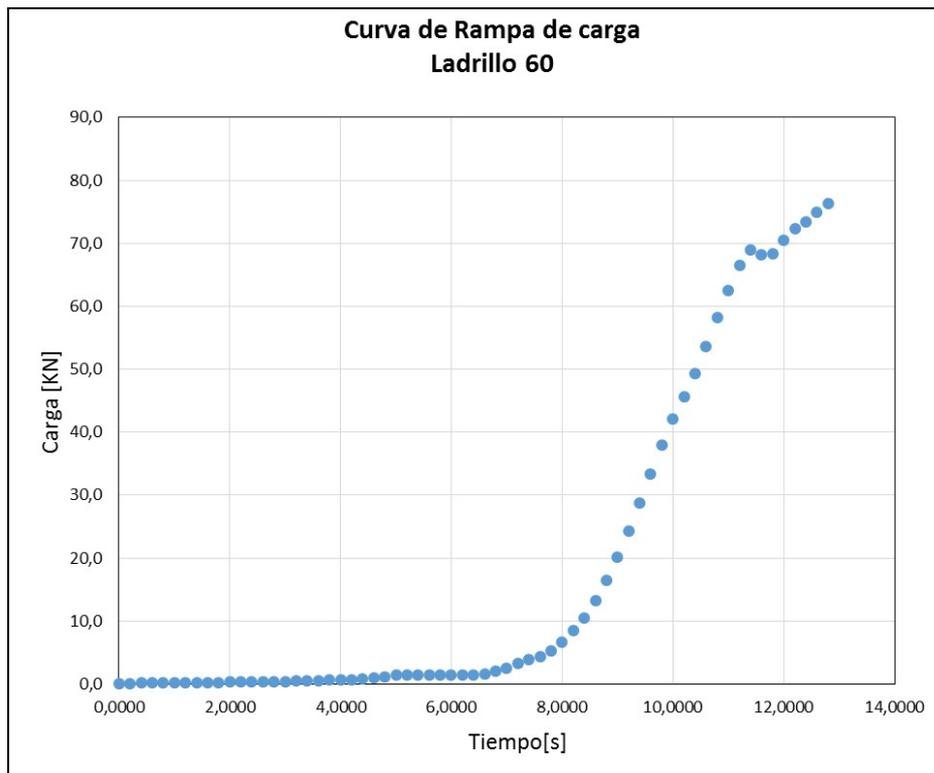




Figura 1: “Rampa de carga:Carga[KN] - Tiempo [s]”

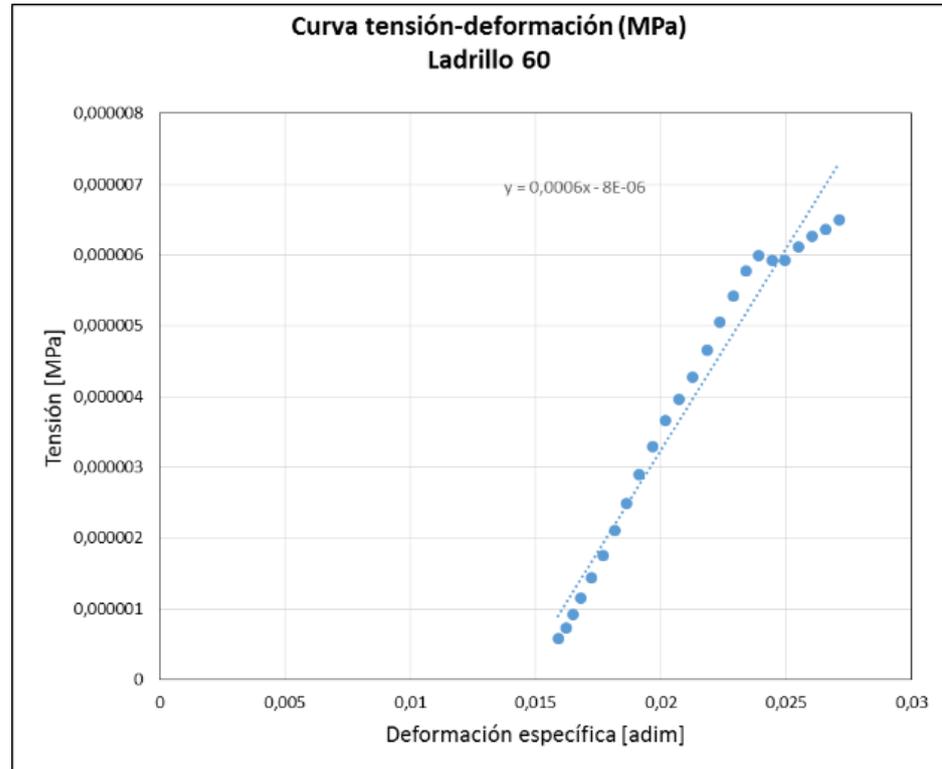


Figura 2: Curva Tensión [MPa]-Def. [adim]

Diseño del modelo:

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 más precisos mediante ensayos específicos de laboratorio para este parámetro.



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 inicial las tareas de calibración 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 las caras horizontales y verticales. 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 se han configurado por defecto. En la Figura 3 se detalla la configuración de material empleada.

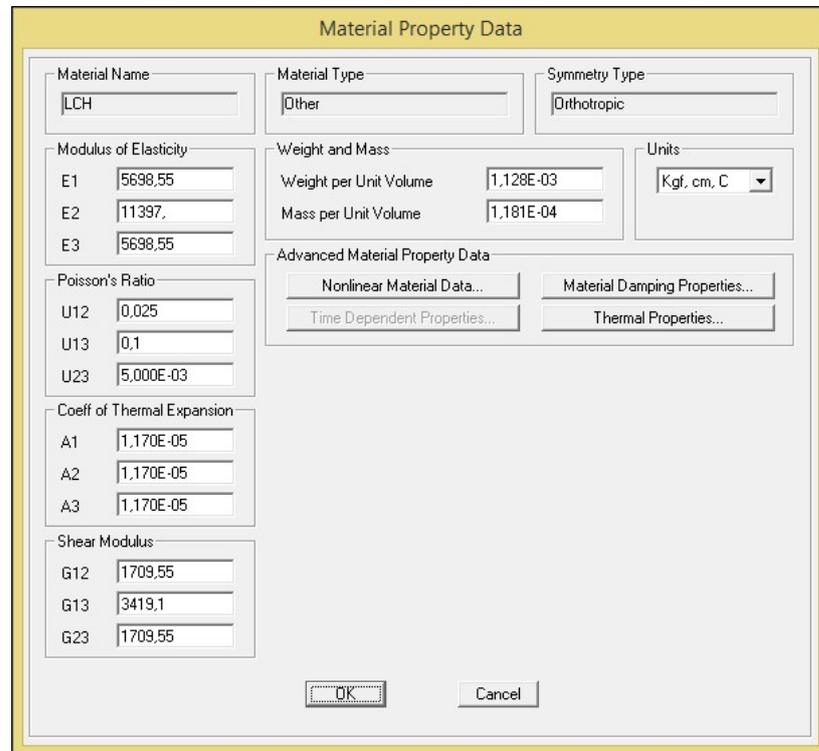



Figura 3: “Definición de propiedades del material”

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

Para la curva tensión-deformación del material, se han definido puntos característicos, tomando el valor máximo y el mínimo de la línea de tendencia antes mencionada conforme se detalla en la Figura 4.



Nonlinear Material Data

Edit

Material Name:

Material Type:

Hysteresis Type:

Drucker-Prager Parameters

Friction Angle:

Dilatational Angle:

Units:

Stress-Strain Curve Definition Options

Parametric

User Defined

User Stress-Strain Curve Data

Number of Points in Stress-Strain Curve:

	Strain	Stress	Point ID
1	-75,879	-281,4417	
2	-9,0172	-162,1349	
3	0,	0,	A
4	1,322E-05	0,0102	

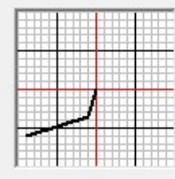


Figura 4: “Definición de propiedades no lineales del material”

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

Además, se ha utilizado la herramienta de restricciones de borde “Assign Edge Constraints” 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 10.000kgf/cm^2 únicamente de Compresión, y en la dirección paralela, un valor de 100 kgf/cm^2 que restrinja esfuerzos de Tracción y Compresión (Ver Figura 5).

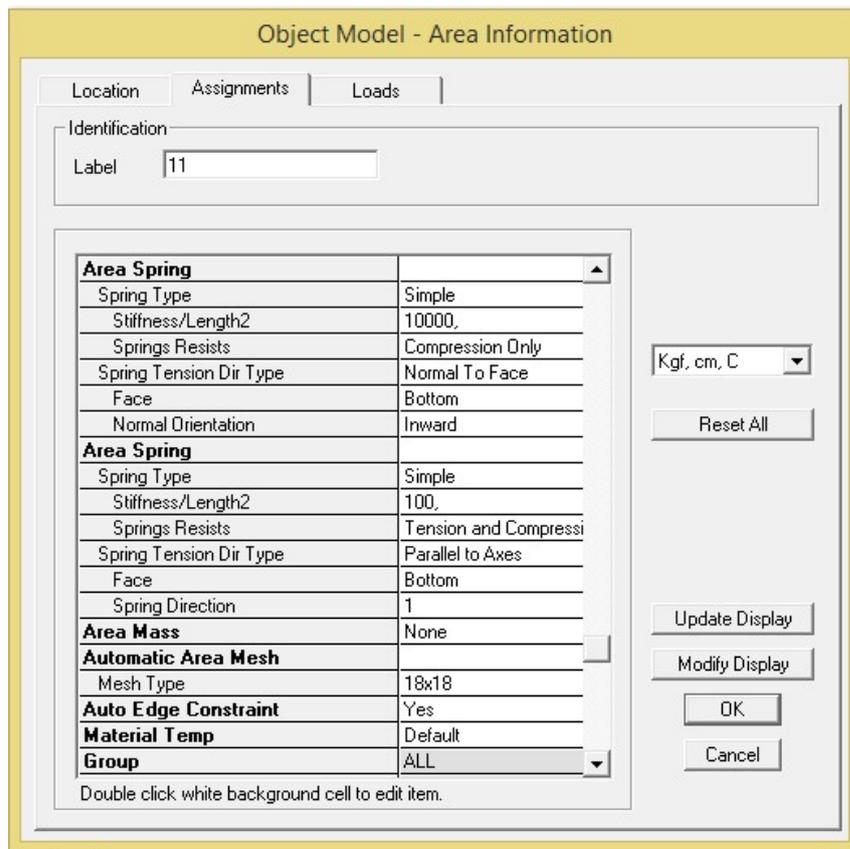


Figura 5: “Propiedades asignadas a los resortes”

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, con un análisis de tipo “No lineal” e “Integración directa”.

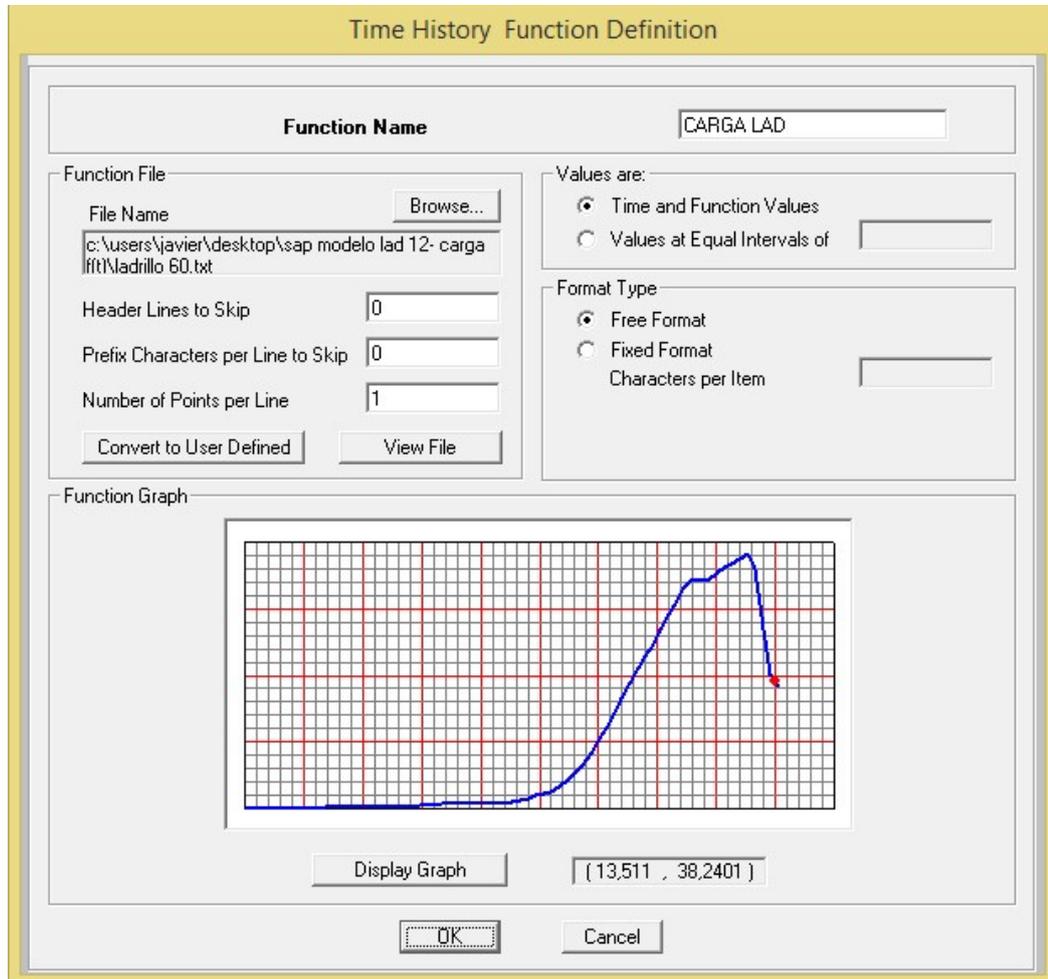


Figura 6: “Definición de la función de cargas”

Modelos Propuestos:

Conforme las opciones propuestas de aplicación de las cargas se han definido dos modelos a considerar:



-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 las caras verticales. Definida de la misma forma que en el Modelo C1 con tipo de carga lineal.

Resultados y Discusión

Atendiendo a que en los ensayos experimentales se realiza la medición directa del desplazamiento de los vértices en la cara vertical de los ladrillos, mediante la disposición de un flexímetro digital, se ha adoptado para el análisis de los resultados la verificación del acortamiento del mampuesto en una de sus caras exteriores (Punto superior(A) e inferior (B)), considerado el mismo lugar donde se ha colocado el flexímetro durante el ensayo

El acortamiento manifestado por el ensayo de laboratorio resultó de **4,703 mm**.

En la Figura 7 y Tabla 2 se muestran las deformaciones que se han obtenido mediante la simulación por el método de elementos finitos en ambos modelos propuestos.

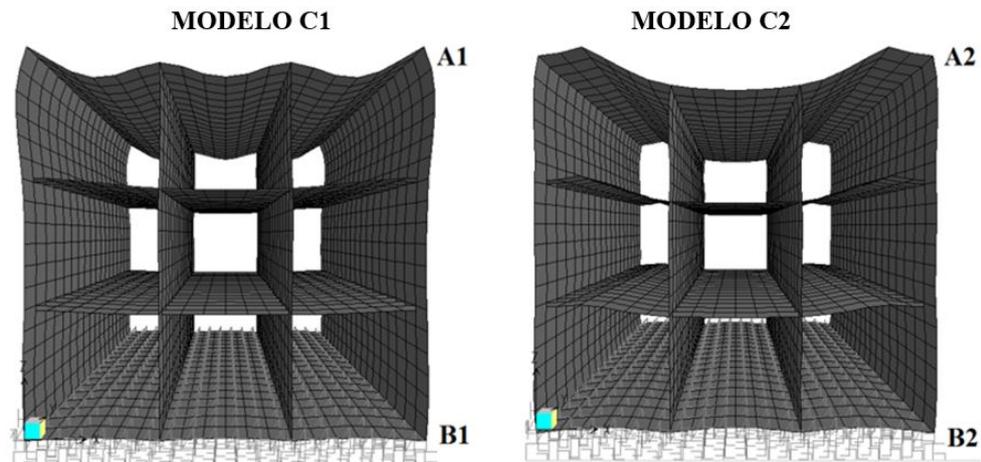


Figura 7: Deformación del Ladrillo e identificación de puntos de control

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, denotando mejor respuesta a lo observado en los ensayos de laboratorio realizados.

Conclusiones



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 que ajuste en mejor medida a los resultados de ensayo. Para ello se debiera de registrar los datos geométricos y mecánicos de una mayor cantidad de mampuestos a fin de que los parámetros configurados y los resultados sean más representativos.

Referencias

- Nelson D. Agüera. Miguel E. Tornello. Carlos D. Frau. (2013). *Mampostería no reforzada bajo carga axial y Horizontal con desplazamiento controlado*. Asociación Argentina de Mecánica Computacional - Mecánica Computacional Vol XXXII, págs. 777-791. Mendoza, Argentina.
- Jorge Gonzalo Rosas Rodríguez. (2004). *Análisis no lineal de muretes armados ensayados a compresión diagonal*. Universidad privada Boliviana. Investigación y Desarrollo, No. 4:27-44. ISSN 1814-6333.
- INTI - CIRSOC 501 (2007). *Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería*.
- J. López, S. Oller, E. Oñate. (1998). *Cálculo del Comportamiento de la Mampostería Mediante Elementos Finitos*. Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería. Monografía CIMNE N°46.
- Rougier, V. C., Luccioni B. M., Modelación numérica de mampostería reforzada Con materiales compuestos, Mecánica Computacional, volumen XXVI, 2007