

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

## **TECNICAS ESTADISTICAS APLICADAS A LA CARATERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE MAMPUESTOS REGIONALES<sup>1</sup>**

**Javier A. Duarte<sup>2</sup>, Jose J. Fernandez<sup>3</sup>, Juan A. Sanchez<sup>4</sup>, Gerardo A. Vogel<sup>5</sup>, Oscar Moller<sup>6</sup>, Hugo O. Reinert<sup>7</sup>.**

<sup>1</sup> Corresponde a Proyecto de investigación

<sup>2</sup> Docente investigador - Universidad Nacional de Misiones

<sup>3</sup> Estudiante. Adscripto carrera de ingeniería civil - Universidad Nacional de Misiones

<sup>4</sup> Estudiante. Adscripto carrera de ingeniería civil - Universidad Nacional de Misiones

<sup>5</sup> Estudiante. Adscripto. carrera de ingeniería civil - Universidad Nacional de Misiones.

<sup>6</sup> Profesor investigador. - Universidad Nacional de Misiones. Doctor en Ingeniería, Docente Investigador - FCEIA-UNR, Rosario Santa Fé.

<sup>7</sup> Docente investigador - Universidad Nacional de Misiones.

### Introducción.

En la Provincia de Misiones, República Argentina, los sistemas constructivos encontrados en la región son de considerable variedad, encontrando casos de mamposterías ejecutadas con Ladrillos Macizos Artesanales, así como ladrillos Cerámicos Huecos de diferente relación de vacíos. En la mayoría de los casos, estos mampuestos están conformados por paredes de espesor delgado, las cuales presentan diferencias geométricas, que son, por un lado arbitrarias, entre paredes externas e internas, y por otro una consecuencia de la razonable dispersión de los procesos involucrados en la fabricación del mismo. Es de importancia en instancias de diseño estructural de estos sistemas, tener presente las dispersiones que puedan surgir del proceso de manufactura, en particular las que puedan incidir en las propiedades geométricas de la sección de un mampuesto. El objetivo del presente trabajo es evaluar en qué manera incide la variación de la dimensiones en los espesores de paredes, respecto de la inercia de la sección en un mampuesto. Se espera poder visualizar en forma conceptual la variabilidad de las propiedades geométricas y mecánicas de estos elementos estructurales y la influencia que tiene en ella el control de su proceso de fabricación.

### Metodología

Como punto de partida, se efectúa un relevamiento de las dimensiones de un lote de ladrillos Cerámicos Huecos conocidos en la región como LCH 18 18 25, adoptando como criterio medir dimensiones globales de la pieza, y espesores de paredes, tanto verticales como horizontales. La información obtenida se organiza en campos, que comprenden: dimensiones paredes verticales de frente, dimensiones de paredes horizontales de frente, dimensiones paredes verticales de contra frente, dimensiones de paredes horizontales contra frente, dimensiones de bordes. Estos datos se promedian para obtener un solo valor de las siguientes dimensiones, paredes horizontales externas e internas, paredes verticales externas e internas, y longitudes globales. En función de estos últimos se determinó la inercia de la sección del ladrillo. Luego, se procesa esta información con un software de análisis de datos estadísticos. A efectos de obtener algunas respuestas, se analizan

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

valores medios y dispersión de los diferentes campos relevados, así como la correlación entre el parámetro inercia y los datos geométricos de los mampuestos. Esto nos permitirá sacar conclusiones respecto del grado en que, las variaciones geométricas de la pieza, afectan al momento de inercia. La figura 1, muestra imágenes del prototipo de mampuesto estudiado, así como un modelo digital elaborado para la verificación de los parámetros de inercia de la sección transversal del mampuesto. Cabe destacar que en modelo digital no se considero la rugosidad de las caras laterales, como se puede apreciar en la mencionada figura.

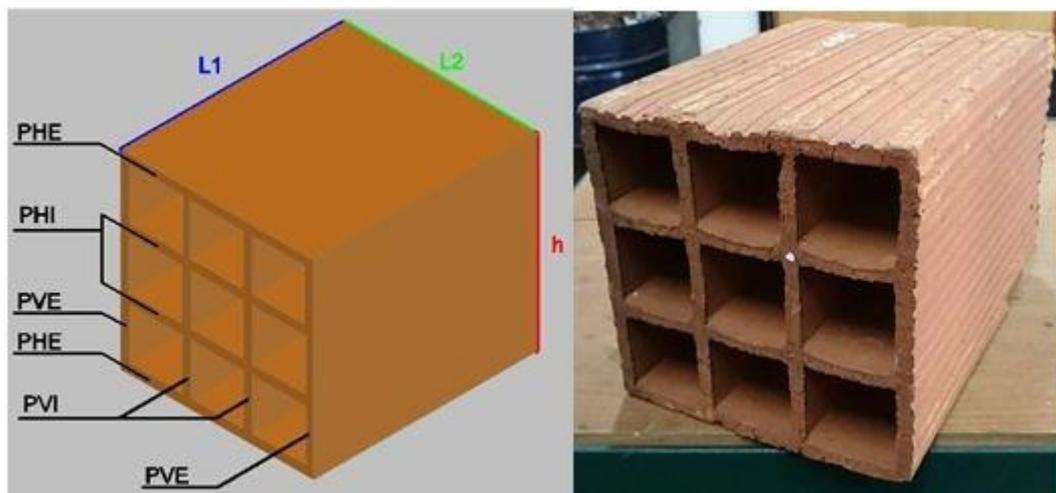


Figura 1. Imágenes de prototipo y modelo de mampuesto.

Presentación y discusión de resultados.

A continuación, se presentan resultados del procesamiento estadístico de 41 mampuestos, a los cuales se toman medidas globales y locales.

	Altura	Ancho	INERCIA	PHE	PHI	PVE	PVI
Recuento	41	41	41	41	41	41	41
Promedio	172.598	173.498	2156.54	7.37829	7.84878	7.60171	8.13098
Desviación Estándar	2.6557	1.68649	151.914	0.316251	0.467286	0.410688	0.491553
Coefficiente de Variación	1.53867%	0.972053%	7.04435%	4.28623%	5.95361%	5.40257%	6.04543%
Mínimo	166.0	170.8	1953.33	6.54	7.17	6.93	7.38
Máximo	176.8	176.3	2620.28	8.17	9.53	8.67	9.77
Rango	10.8	5.5	666.95	1.63	2.36	1.74	2.39
Sesgo Estandarizado	-0.412573	0.0705173	2.52811	0.612482	4.23545	0.54491	3.17959
Curiosis Estandarizada	-0.962624	-1.51373	1.70028	1.08222	5.68936	-0.275691	3.78158

Tabla 2 - Resumen estadístico 1ra iteración

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

	Altura	inversa Ancho	inversa Inercia	inversa PVE	inversa PVI	Log PHE
Recuento	41	41	41	41	41	41
Promedio	172.598	0.0057643	0.000465843	0.131923	0.123402	1.99765
Desviación Estándar	2.6557	0.0000560246	0.0000312345	0.0070975	0.00707182	0.0427743
Coefficiente de Variación	1.53867%	0.971923%	6.70495%	5.38004%	5.73074%	2.14123%
Mínimo	166.0	0.00567215	0.000381639	0.11534	0.102354	1.87794
Máximo	176.8	0.0058548	0.000511946	0.1443	0.135501	2.10047
Rango	10.8	0.000182651	0.000130308	0.0289599	0.0331472	0.222532
Sesgo Estandarizado	-0.412573	-0.00539106	-1.46928	0.0981409	-1.86631	0.164624
Curtosis Estandarizada	-0.962624	-1.52	0.220149	-0.748981	1.66945	1.19212

Tabla 3 - Resumen estadístico 2da iteración

	Altura	inversa Ancho	inversa Inercia	inversa PVE	inversa PVI	Log PHE
Altura		0.8787 (41)	-0.9984 (41)	0.9700 (41)	0.9583 (41)	-0.9852 (41)
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
inversa Ancho	0.8787 (41)		0.8767 (41)	-0.8594 (41)	-0.8426 (41)	0.8459 (41)
	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
inversa Inercia	-0.9984 (41)	0.8767 (41)		0.9709 (41)	0.9655 (41)	-0.9864 (41)
	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000
inversa PVE	0.9700 (41)	-0.8594 (41)	0.9709 (41)		-0.8843 (41)	0.9645 (41)
	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000
inversa PVI	0.9583 (41)	-0.8426 (41)	0.9655 (41)	-0.8843 (41)		0.9439 (41)
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000
Log PHE	-0.9852 (41)	0.8459 (41)	-0.9864 (41)	0.9645 (41)	0.9439 (41)	
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Correlación  
(Tamaño de Muestra)  
Valor-P

Tabla 4 - Correlaciones Parciales

Los datos de la tabla 2 muestran algunos valores de sesgo y curtosis fuera del rango normal por lo que se decide intentar una segunda iteración (tabla 3) en la que se evalúan distintas funciones, tomando el criterio de adoptar las funciones con menor valor de sesgo. La tabla 4 se corresponde a las correlaciones entre los diferentes parámetros geométricos y la inercia, excluyendo el valor de PHI, el cual no se encuentra ninguna función estadística que la represente. Se entiende que debe seguirse esta particularidad con detalle en trabajos futuros. De esta forma es válido plantear un análisis más exhaustivo de las distribuciones de mejor ajuste para las variables en juego, o bien definir que variables pueden ser tomadas como principales en procesos y técnicas de optimización con restricciones de confiabilidad

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

Se puede ver que los valores de significancia estadística son aceptables, no obstante se debe incrementar el muestreo, para lograr mejores resultados. Luego, se extrae de la tabla 4 las dimensiones geométricas que mejor correlación presentan con la inercia, y con estos datos, se elabora un estudio de la regresión múltiple, con lo cual se halla la siguiente relación que relaciona la inercia, con los parámetros geométricos antes mencionado. la figura 2 muestra gráficos de regresión simple para los parametros seleccionados, a saber: Altura, espesor de pared externo vertical, espesores de pared interno vertical.

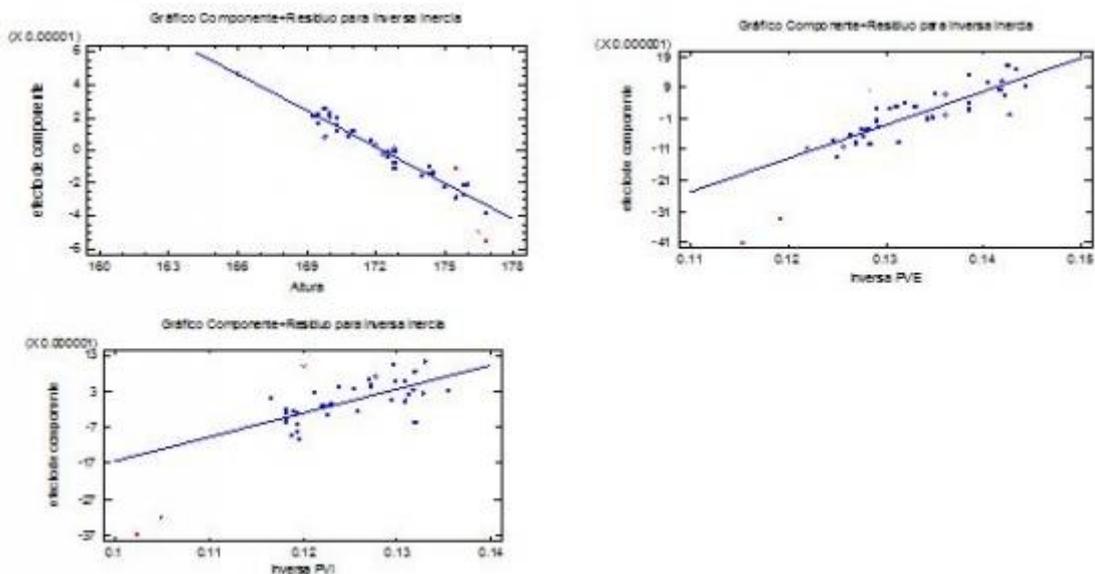


Figura 2. Graficos de regresion de Inercia vs. Datos geométricos.

### Conclusiones

Respecto de lo observado, se puede concluir que los coeficientes de variación de los datos geométricos oscilan en el orden del 2 al 7 % lo cual indica que el proceso de fabricación de la muestra analizada no muestra dispersiones importantes o graves, producto de fallas en el proceso de fabricación. Con los datos obtenidos podemos ver a partir de un análisis del sesgo y curtosis, que ciertas variables no se ajustan a una distribución de tipo normal, por lo cual se procede a efectuar una segunda iteración donde se busca encontrar cuales son las funciones que ajustan mejor el sesgo a un tipo de distribución normal.

La variable PHI no se ajusta a ninguna de las distribuciones analizadas para el estudio del presente trabajo dado que presenta valores de sesgo y curtosis fuera del rango establecido. Es recomendable aumentar el tamaño de la muestra y volver a procesar datos para re evaluar estos indices. No obstante es de destacara que, dicho espesor horizontal de las paredes internas del mampuestos, como se puede apreciar en la Figura 1, presenta en la mayoría de los casos, imperfecciones por el sistema de fabricación del mismo, es decir, el método de cortado de los ladrillos crudos, aparenta generar imperfecciones en los extremos de los ladrillos que pueden estar afectando la medición.

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

Con respecto a la correlación entre variables se puede establecer que los datos geométricos más relevantes en la variación de la inercia son los relacionados con los elementos componentes verticales de la sección transversal, lo cual es lógico si se tiene en cuenta la teoría vigente al respecto.

En un trabajo futuro, además de continuar ampliando la base de datos, se propone especificar el estudio de las variables geométricas, a efectos de establecer las distribuciones probabilísticas más adecuadas para cada una de ellas, con lo cual podremos mejorar la regresión múltiple propuesta para el cálculo de la inercia de la sección transversal del mampuesto, logrando con esto avanzar en la propuesta de un modelo numérico representativo del prototipo estudiado. A la par se pretende incorporar la relación entre parámetros geométricos y mecánicos de los mampuestos, con el fin de lograr proponer un mecanismo de falla adecuado para estos casos, con bajo costo computacional.

**Palabras Clave**

Mampostería, Propiedades Geométricas, Caracterización, Correlación, Regresión Múltiple.

**Agradecimientos**

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería de la UNaM y al Departamento de Ingeniería Civil, por brindarnos el espacio adecuado para el desarrollo del presente trabajo, a los alumnos Gustavo Pritznilson, Andrea Franchini, Gaston Lopez, Fabio Gatelli, integrantes del equipo de investigación, a los ingenieros Oscar Moller, Fernando Detke, Julio Mercanti y Hugo Reinert, docentes integrantes del equipo de investigación.

**Referencias**

Fontana Cabezas J., Características geométricas, físicas y mecánicas de mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay - Revista CIENCIA, DOCENCIA Y TECNOLOGÍA | AÑO XXII | N° 42 | MAYO DE 2011 | (207 - 240)

Quinteros, R. D. Modelización del comportamiento de estructuras de mampostería mediante la teoría de homogeneización. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, 2014.

Torrise, G. Análisis y Diseño de Estructuras de Hormigón Armado y Mampostería. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 2012.

Reinert, H. O., Duarte, J. A., Evaluación de solicitaciones por elementos finitos aplicada a medios continuos. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, 2013.

CIRSOC 501-E, Viviendas de mampostería bajo compromiso estructural, MPFIS, 2005.

CIRSOC 501, Estructuras de mampostería, MPFIS, 2005.