

## ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS DEL MATERIAL DE LOS LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS REGIONALES<sup>1</sup>

Oscar Möller<sup>2</sup>; Fernando R. Detke<sup>3</sup>; Eduardo Baumgratz<sup>4</sup>; Ariana G. Seufert<sup>5</sup>; Ricardo R. Miranda<sup>6</sup>; Enrique M. Galván<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Trabajo de Investigación, Proyecto del Programa de Incentivos Código 16-I131

<sup>2</sup> Director de Proyecto, Doctor Ingeniero., [moller@fceia.unr.edu.ar](mailto:moller@fceia.unr.edu.ar)

<sup>3</sup> Co-director de Proyecto, Ingeniero Civil, [detke@fio.unam.edu.ar](mailto:detke@fio.unam.edu.ar)

<sup>4</sup> Integrante de Proyecto, Adscripto Profesional, Ingeniero Civil, [eduardo.baumgratz@hotmail.com](mailto:eduardo.baumgratz@hotmail.com)

<sup>5</sup> Estudiante de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina. [arianaseufert@gmail.com](mailto:arianaseufert@gmail.com)

<sup>6</sup> Estudiante de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina. [3755557641.rr@gmail.com](mailto:3755557641.rr@gmail.com)

<sup>7</sup> Estudiante de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina. [maxiemg95@gmail.com](mailto:maxiemg95@gmail.com)

### Resumen

El análisis de estructuras ha contado en las últimas décadas con avances de considerable importancia en el campo de la resistencia de materiales, debido a las ventajas que ha provisto la tecnología en términos del estudio del comportamiento mecánico de cuerpos estructurales. así también la resistencia de Materiales Clásica fue formulada para un material considerado elástico isótropo y homogéneo, tal es el caso del acero. Por tal motivo, cada vez que se habla de análisis estructural y comportamiento de un material ante un determinado esfuerzo, se hace necesario considerar los parámetros mecánicos del material estructural en cuestión dando datos como el módulo de Elasticidad Longitudinal o el coeficiente que relaciona deformaciones longitudinales y transversales, conocido como coeficiente de Poisson. Deben establecerse a priori y eventualmente ser sometidos a procedimientos de calibración y ajuste, según el método de análisis que se esté efectuando. El presente trabajo presenta resultados del procesamiento de ensayos mecánicos a compresión desarrollados hasta la rotura en probetas de material cerámico y ladrillos cerámicos huecos. Dentro del esquema de procesamiento se realiza una descripción estadística de los parámetros analizados.

**Palabras Clave:** *Estimación – Parámetros mecánicos – Cerámica*

### Introducción

Se presenta como objeto de análisis, en términos del estudio mecánico de ladrillos huecos cerámicos regionales de la provincia de Misiones, la estimación de las propiedades de los materiales que los constituyen, debido a la gran variedad de las características de la materia prima utilizada en la fabricación del mampuesto. A pesar de la gran variedad de productores regionales, se presenta en este trabajo un análisis de muestras de materia prima procedentes de dos fábricas de diferente magnitud; buscando determinar los parámetros mecánicos del material cerámica, a través de la confección y estudio de curvas de tensión-deformación que surgen de ensayos a compresión.

## Metodología

Se partió de probetas moldeadas en la fábrica, las cuales guardan una relación aproximada de 2:1 entre su altura y lados; dichas probetas se sometieron al mismo proceso de cocción de los ladrillos producidos en la fábrica. Una vez obtenida la probeta se prepararon sus caras para volverlas planas y paralelas, se procedió a determinar todas sus dimensiones mediante medición con calibre, y fueron sometidas a ensayos de compresión, hasta alcanzar la rotura.

Para su ensayo, se utilizó una prensa de accionamiento mecánico a velocidad constante, con una celda de carga de 5 toneladas y con la base para ensayos de mortero, suplementada, dadas las dimensiones de la probeta. La figura 1 muestra el montaje de la probeta en la máquina de ensayo a compresión. En ella se puede observar que se colocaron suplementos de material más rígido que el de las probetas. La deformación de estos suplementos no fue tenida en cuenta en la estimación del módulo de Elasticidad.



Figura 1. Dispositivo de ensayo a compresión.

La velocidad de giro fue de 249 rpm en el variador de voltaje adosado al motor (da como resultado una velocidad de carga de 80,427 kg/seg). Con los resultados de estos ensayos a compresión, se realizó un análisis estadístico consistente en la obtención de los parámetros de media, varianza, desviación, valores extremos, entre otros.

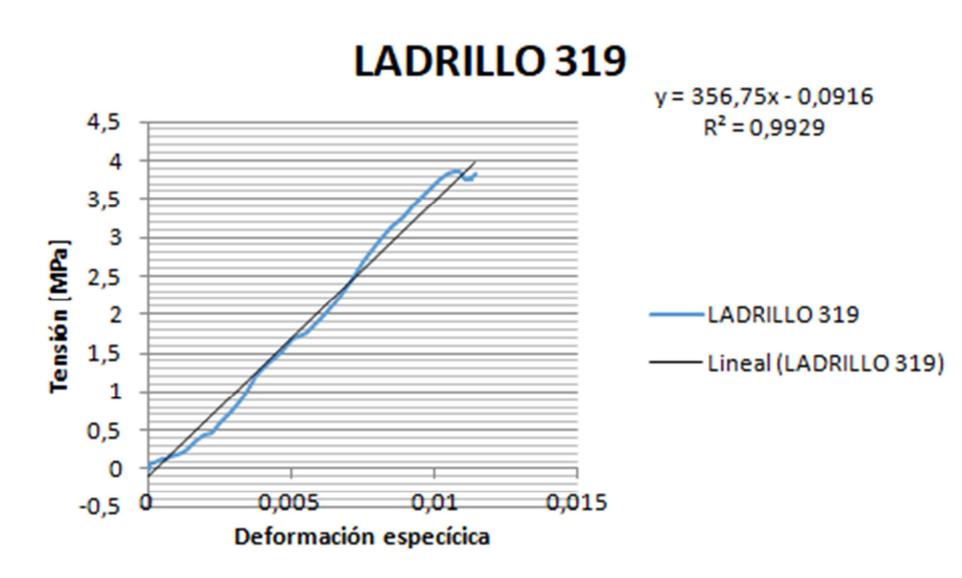


Figura 2. Curva Tensión-Deformación. L319.

Para la obtención del módulo E se tomaron los datos de carga y desplazamiento registrados en los ensayos mediante una celda de carga y un flexímetro, se construyó la función Tensión-Deformación en hoja digital de cálculo, y aplicando línea de tendencia se obtuvo el valor de la pendiente en el segmento de mayor linealidad. Cabe acotar que, como se puede observar en la figura 2, la primera parte de la curva sufre variaciones debidas a que la probeta está iniciando su proceso de toma de carga, luego en el final de la misma, después de las primeras fisuras y habida cuenta de la fragilidad de la cerámica como material estructural, se observan variaciones en la curva coincidentes con la aparición de fisuras en el material. Luego de efectuada la línea de tendencia se verifica la correlación con el parámetro  $R^2$ , viendo que sea superior a 0,99 y se adopta como valor de E la pendiente de la recta (356.75 para L319 en la Figura 2). en dicha figura se han descartado los valores mencionados y correspondientes al segmento inicial y final de la curva real del ensayo

También se realizaron ensayos de LCH a compresión, los cuales, se analizaron de manera similar a lo hecho con las probetas, en términos de la estimación del módulo E de Elasticidad Longitudinal, obteniéndose valores para la comparación de resultados por ambas metodologías.

### Resultados y Discusión

Seguidamente se presentan los resultados del análisis estadístico de las dimensiones geométricas de las probetas, así como también de los módulos de elasticidad obtenidos a partir de los ensayos de compresión de mampuestos, realizados en mismas condiciones experimentales, esto es, a igual ritmo de carga y midiendo con celda de carga y flexímetro. Se puede observar que los valores de Sesgo y curtosis permiten inferir que ambos lotes de muestras se pueden representar estadísticamente a través de una distribución de probabilidad de tipo normal.

Módulo de elasticidad				
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	269,21	1	10,0	10,0
	416,86	1	10,0	20,0
	442,64	1	10,0	30,0
	466,74	1	10,0	40,0
	476,94	1	10,0	50,0
	509,91	1	10,0	60,0
	535,73	1	10,0	70,0
	549,27	1	10,0	80,0
	559,07	1	10,0	90,0
	678,27	1	10,0	100,0
Total		10	100,0	

Estadísticos		
Módulo de elasticidad		
N	Válidos	10
	Perdidos	0
Media		490,4640
Error típ. de la media		33,87344
Mediana		493,4250
Desv. típ.		107,12
Varianza		11474,10
Asimetría		-0,46383
Error típ. de asimetría		0,68704
Curtosis		1,81745
Error típ. de curtosis		1,33
Rango		409,06
Mínimo		269,21
Máximo		678,27
Suma		4904,64

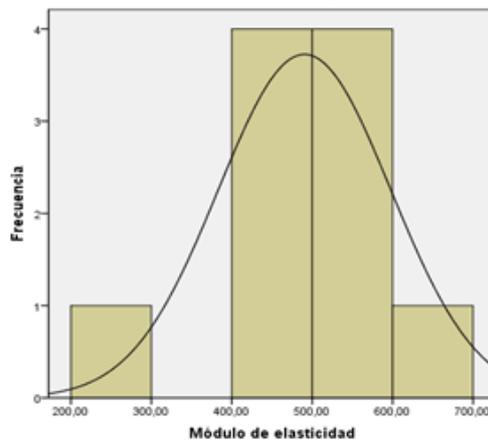
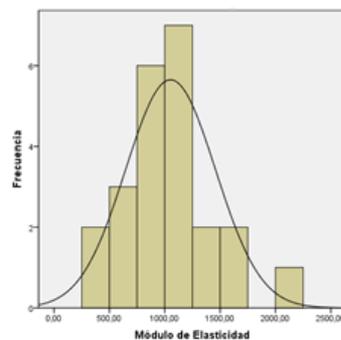


Figura 2. Datos Estadísticos en ensayos Fabrica A.



Estadísticos		
Módulo de Elasticidad		
N	Válidos	23
	Perdidos	5
Media		1052,3396
Error típ. de la media		84,63239
Mediana		1037,4000
Desv. típ.		405,88268
Varianza		164740,75
Asimetría		0,50882
Error típ. de asimetría		0,48134
Curtosis		0,96637
Error típ. de curtosis		0,93476
Rango		1803,06
Mínimo		315,04
Máximo		2118,10
Percentiles	25	850,4400
	50	1037,4000
	75	1243,5000

Módulo de Elasticidad					
	[Mpa]	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	315,04	1	3,6	4,3	4,3
	479,26	1	3,6	4,3	8,7
	524,57	1	3,6	4,3	13,0
	581,18	1	3,6	4,3	17,4
	689,44	1	3,6	4,3	21,7
	850,44	1	3,6	4,3	26,1
	879,81	1	3,6	4,3	30,4
	897,3	1	3,6	4,3	34,8
	957,35	1	3,6	4,3	39,1
	993,15	1	3,6	4,3	43,5
	993,87	1	3,6	4,3	47,8
	1037,4	1	3,6	4,3	52,2
	1058,1	1	3,6	4,3	56,5
	1083,4	1	3,6	4,3	60,9
	1172,5	1	3,6	4,3	65,2
	1195,6	1	3,6	4,3	69,6
	1199,4	1	3,6	4,3	73,9
	1243,5	1	3,6	4,3	78,3
	1336,7	1	3,6	4,3	82,6
	1475	1	3,6	4,3	87,0
	1532,7	1	3,6	4,3	91,3
	1590	1	3,6	4,3	95,7
	2118,1	1	3,6	4,3	100,0
Total		23	82,1	100,0	
Perdidos	Sistema	5	17,9		
Total		28	100,0		

Figura 3. Datos Estadísticos en ensayos Fabrica B.

Con respecto a los resultados de módulos de elasticidad estimados, estos tuvieron un grado de dispersión considerable. al revisar el diagrama de caja y bigotes de la muestra de fábrica A, se observa en la figura 4 de valores alejados (outliers) que pueden ser responsables de tal dispersión. Esto fija como tarea a posterior el incrementar la base de datos, tanto de probetas ensayadas como de fábricas relevadas.

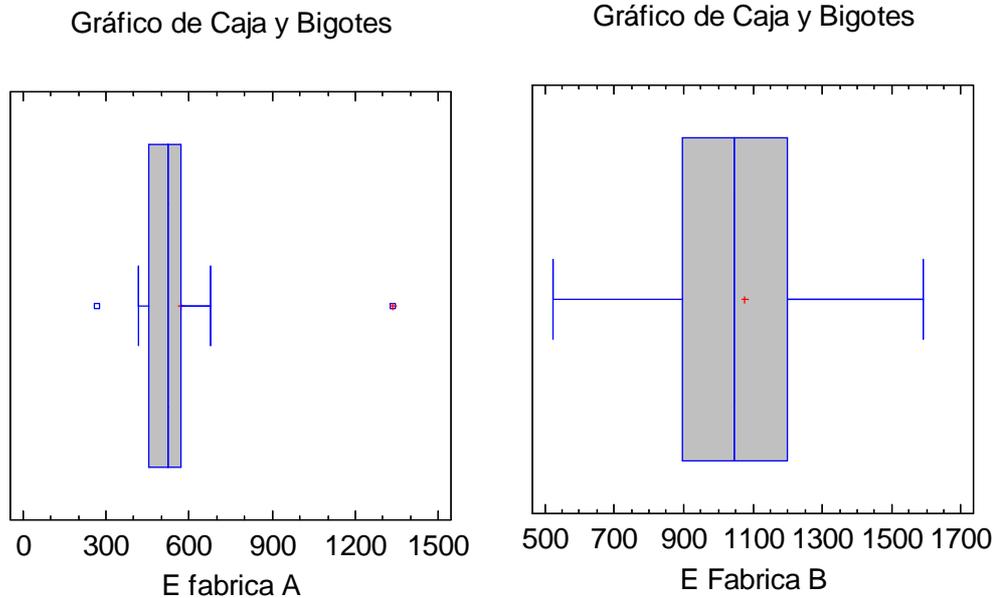


Figura 4. Datos Estadísticos en ensayos Fabricas A y B.

Por otra parte si se observa la distribución de frecuencias de ambos lotes, se puede asumir para ambos materiales un tipo de distribución normal, tal cual se puede apreciar en la figura 5. Esto permite aplicar en el análisis reglas estadísticas con mayor facilidad y caracterizar los parámetros mecánicos en términos de valor medio y dispersión.

#### Histograma

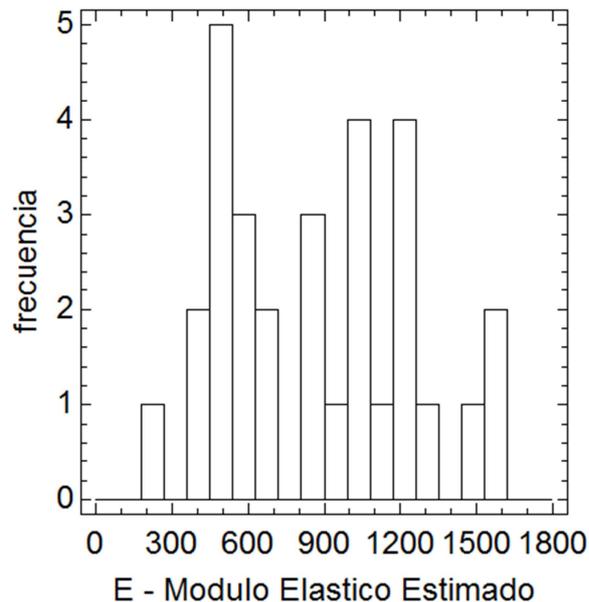


Figura 5. Histograma de fábricas A y B.

A continuación se presentará el análisis de los valores de módulo de elasticidad obtenidos de ensayos a compresión de LCH:

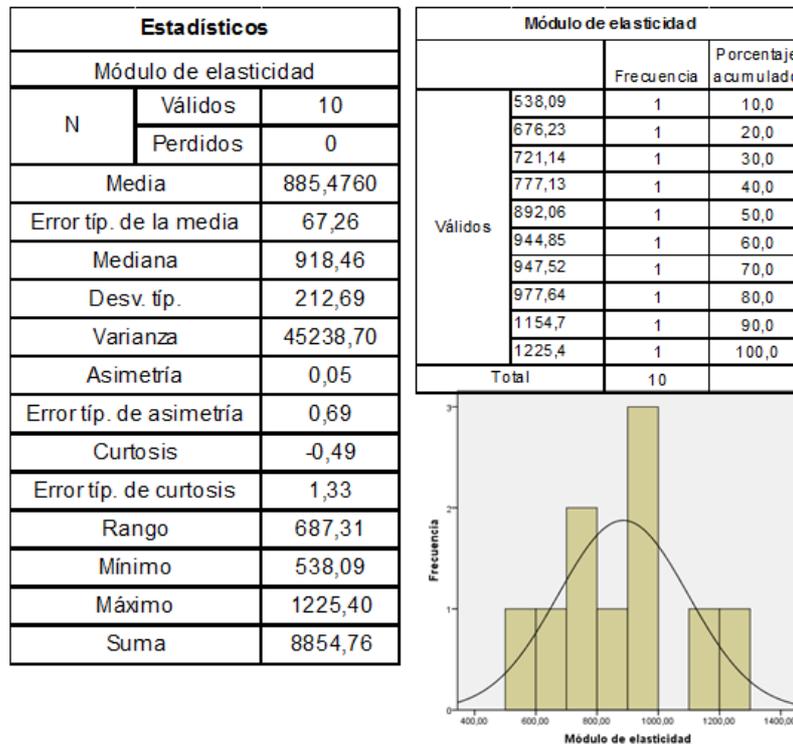


Figura 6. Datos Estadísticos en ensayos de LCH.

la figura 6 muestra que los valores medios de Modulo E de los ensayos en Mampuestos son intermedios entre ambas fábricas. Si bien se observan diferencias considerables, el lote de muestras de material ensayado es pequeño para definir conclusiones concretas, con lo cual se debe apuntar a efectuar la realización de nuevas pruebas que incrementen la base de datos actual. los valores de sesgo y curtosis son tales que se puede asumir para el lote una distribución de probabilidad normal.

### Conclusiones

Se presentaron resultados de ensayos a compresión de probetas de cerámica utilizadas en la elaboración de ladrillos cerámicos huecos oriundos de la provincia de misiones.

Respecto al análisis estadístico de la muestras podemos concluir que los valores alejados deben descartarse para obtener mejores resultados, lo cual a futuro implica la necesidad de continuar realizando ensayos de este tipo de probetas, a efectos de poder caracterizar el valor del módulo Elástico del material y poder utilizarlo en modelos de predicción de comportamiento mecánico.

Con respecto a la comparación entre resultados de probetas de material y ensayos de mampuestos, los valores si bien son un poco distantes se enmarcan en un patrón similar, lo cual permite validar la estimación y proceder a verificar la utilización del mismo en procesos de modelación numérica aplicada al análisis estructural de estos mampuestos.

En términos de análisis Estadístico, se puede inferir que tanto las probetas de cerámica como los mampuestos ensayados a compresión pueden asumirse en una distribución de probabilidad Normal, permitiendo definir a E en términos de su valor medio y su desvío Estandar.

A futuro se intenta calibrar metodos obtención de estos parámetros que no requieran ensayos destructivos, por lo cual los resultados obtenidos para el presente trabajo serán útiles en términos de validación y comparación de resultados obtenidos con otras técnicas de evaluación mecánica de elementos estructurales.

## **Referencias**

IRAM 12585: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Métodos de ensayo de las características geométricas.

IRAM 12586: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión.