

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS OBTENIDOS MEDIANTE CORRELACIÓN DE IMÁGENES DIGITALES¹

García Diego²; Dos Santos Ayres Mauricio³; Vogel Alonso³; Metrailler Maia³.

¹Proyecto de Investigación 16-I 128. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

²Director de Proyecto, Doctor Ingeniero. Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina. garciadiego@fio.unam.edu.ar

³Integrante del Proyecto. Estudiante de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

Resumen

En construcciones civiles de la provincia de Misiones es común el uso de las mamposterías de ladrillos cerámicos huecos como cerramiento, despreciando el aporte estructural de estos elementos. Para poder considerar dicho aporte es necesario estudiar el comportamiento mecánico de los mampuestos frente a diferentes estados de carga. El comportamiento mecánico se analiza midiendo las deformaciones que experimenta el elemento mientras se le aplica un sistema de cargas, para poder definir así las características constitutivas del material. Uno de los problemas frecuentes que surge en la medición de deformaciones con flexímetros es el limitado espacio disponible en el ladrillo cerámico hueco, ya que cada pared del mampuesto podría sufrir una deformación diferente, por lo que sería necesario el uso de un gran número de flexímetros para poder obtener el mapa de deformaciones de la sección. Además, la medición de las deformaciones en el sentido transversal de la carga en el ensayo de compresión también supone una dificultad dada la imposibilidad de utilizar flexímetros de forma óptima. Estas deformaciones son importantes dado que con ellas se obtiene la relación entre las deformaciones específicas volumétricas en ambos sentidos, lo cual comúnmente es denominado en elementos sólidos elásticos como coeficiente de Poisson. Este último constituye un parámetro importante en la modelización numérica de ladrillos cerámicos huecos. Estos inconvenientes pueden salvarse utilizando la técnica de Correlación de Imágenes Digitales (DIC- por sus siglas en inglés), la cual permite evaluar los desplazamientos producidos a partir de imágenes tomadas durante el ensayo. Debido a las ventajas que trae consigo, la técnica de correlación de imágenes digitales es ampliamente utilizada en el análisis de diversos problemas en el campo de la mecánica experimental. Con el fin de validar la técnica aplicada a los mencionados ladrillos cerámicos huecos se realizaron ensayos de compresión de los mismos, midiendo las deformaciones con un flexímetro para luego comparar los resultados con los de un software de correlación de imágenes digitales. Finalmente, a través de las deformaciones específicas verticales y horizontales obtenidas del ensayo utilizando la técnica DIC se obtendrán valores de la relación entre las mismas (coeficiente de Poisson en sólidos elásticos) para una serie de ensayos, los cuales son aplicables a modelos numéricos equivalentes de ladrillos cerámicos huecos.

Palabras Clave: DIC – Sensores de Desplazamiento – Correlación.

Introducción

La dificultad de medir por métodos convencionales las deformaciones que sufre la mampostería al estar sometido a cargas llevó a buscar una alternativa para realizar el estudio de los mismos, colocando a la técnica DIC como una posibilidad de mejorar la toma de datos de los ensayos sobre mampuestos gracias a la sencillez de su aplicación, ejecución y procesamiento. Es por ello que existen muchos ejemplos recientes de la aplicación de esta técnica en diversos problemas [1-6] entre los cuales también se destaca su aplicación en estudios de muros de mampostería [3].

Con esta técnica la sección del mampuesto se divide en subconjuntos virtuales, denominados facetas, y mediante la aplicación de algoritmos de correlación, se busca una región o faceta de la imagen de referencia en la imagen deformada, determinando el vector de desplazamientos en cada conjunto de facetas procesadas y de esta manera tener un campo de deformación más amplio que el que se pudiera conseguir con las técnicas de medición tradicionales.

Previamente esta técnica ha sido validada con resultados experimentales en ladrillos cerámicos huecos de nueve y doce agujeros [7]. En el presente trabajo se compararán los resultados conseguidos con un flexímetro con los de un software de correlación de imágenes en ladrillos cerámicos huecos de nueve agujeros. Luego, se evaluará la zona del ensayo en la que se observa un comportamiento elástico lineal de la pieza ensayada. Finalmente, se tomarán los resultados de los ensayos en dichas zonas para la obtención de las propiedades mecánicas del elemento en estudio (Módulo de Elasticidad, coeficiente de Poisson). Las mismas serán útiles para el desarrollo futuro de un modelo sólido elástico equivalente de los ladrillos cerámicos huecos en un software de elementos finitos.

Metodología

Los ensayos se realizaron en ladrillos cerámicos huecos de nueve agujeros. Antes de ensayar cada ladrillo se tomaron todas sus medidas para tener una correcta caracterización geométrica de los mismos. Luego, con el fin de que las bases del ladrillo resulten superficies planas y paralelas entre sí, y al mismo tiempo normales al eje longitudinal de la probeta, se realizó un encabezado menor a cinco milímetros con una capa de adhesivo para cerámica. Además, se introdujo una placa rígida de acero entre el ladrillo y la celda de carga, logrando así una distribución uniforme de la carga aplicada, evitando la concentración de tensiones, Figura 1.

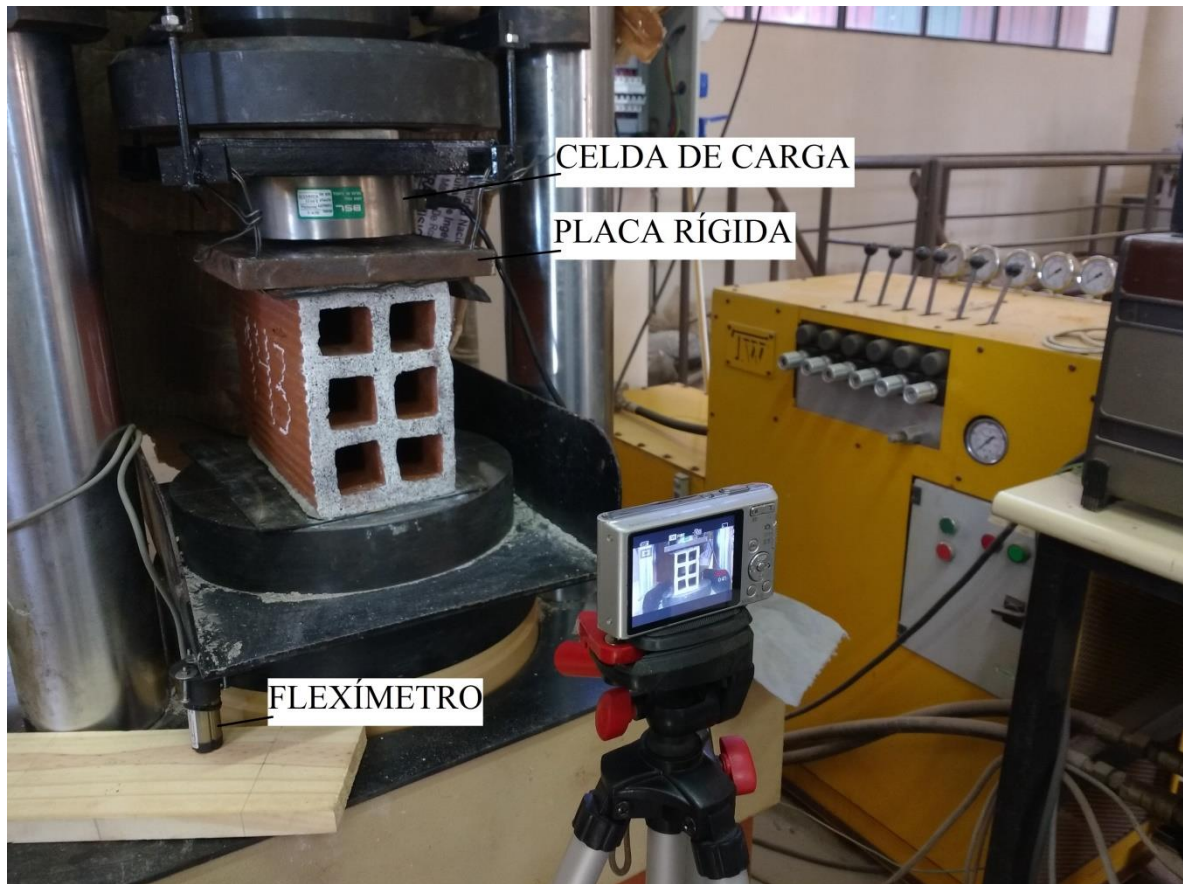


Figura 1- Preparación del ensayo.

El ensayo a compresión transversal se realizó con una prensa hidráulica computarizada Ibertest modelo HIB 150. La celda de carga (BSL modelo GCY-2 de 30000 Kg) se encuentra fija y la carga se aplica a una velocidad de 340 kg/s desde abajo hasta llegar a la rotura, motivo por el cual el flexímetro se ubica en la parte inferior, tomando medida del desplazamiento de la prensa que debería ser el mismo que el de la cara inferior del ladrillo. Los datos del flexímetro y de la celda de carga se registraron con un amplificador universal de 8 canales MX 840 del sistema de adquisición de datos QuantumX de HBM.

Por otra parte, se realizó un moteado del ladrillo, generando un patrón estocástico de buen contraste para poder medir la deformación mediante la técnica DIC con el software libre GOM-correlate V8 SR1. Las imágenes se tomaron utilizando una cámara fotográfica digital Sony Cyber-Shot DSC-W730 de 16.1 MP y zoom óptico 8x. La ubicación de la cámara es tal que el ladrillo queda en el centro de la imagen, a una distancia fija.

La descripción detallada del funcionamiento del software GOM ha sido presentada y sus resultados validados en [7]. Del programa se obtienen tanto desplazamientos verticales como horizontales, pero la comparación se realiza en una sola dirección dada la imposibilidad de colocar flexímetros en la dirección perpendicular a la aplicación de las cargas, Figura 2.

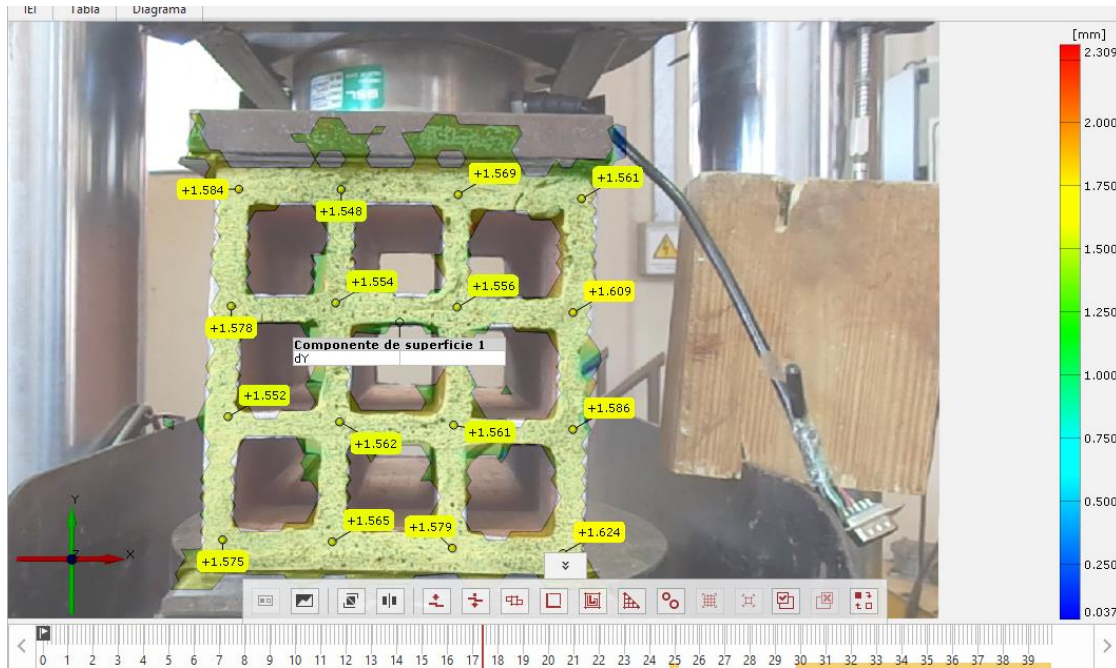


Figura 2- Desplazamientos verticales.

Los puntos de los cuales se contemplan estos desplazamientos se ubican en los vértices (16 puntos), Figura 3. El objetivo de las mediciones experimentales es la obtención de las propiedades mecánicas de los elementos ensayados para utilizarlos posteriormente en modelado numérico. Particularmente en este caso, dicho modelo se trata de un elemento sólido elástico equivalente que brinde resultados similares a los obtenidos del ensayo experimental. Para la obtención de los parámetros buscados se limita la elección de los puntos a aquellos cuyos desplazamientos sean representativos y que tengan mayor relación con el modelo numérico a desarrollar. Para ello se trabaja con las paredes centrales verticales y horizontales, debido a que estas son representativas de las deformaciones volumétricas de la pieza.

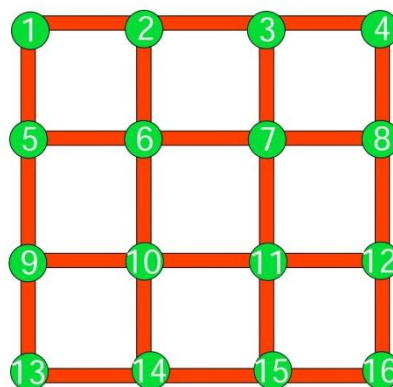


Figura 3- Puntos de medición de desplazamientos verticales y horizontales.

La relación entre las deformaciones específicas horizontales y verticales, conocido como coeficiente de Poisson en elementos sólidos elásticos, se define como:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_X}{\varepsilon_Y} = -\frac{\frac{\Delta l_X}{L_X}}{\frac{\Delta l_Y}{L_Y}}$$

En donde ε_X representa la deformación específica, Δl_X la deformación relativa entre dos puntos y L_X la distancia inicial entre los mismos en la dirección horizontal; y ε_Y la deformación específica, Δl_Y la deformación relativa entre dos puntos y L_Y la distancia inicial entre los mismos en dirección vertical.

Para la determinación de la deformación específica en primera instancia se determina el rango de datos deformación – tiempo en el cual se verifica un comportamiento similar tanto en los sensores de desplazamiento como en el programa.

Una vez determinado el intervalo a utilizar, se determina Δl_Y como la diferencia entre los valores arrojados por el software para cada instante de tiempo para los tabiques verticales intermedios comprendidos entre los puntos 2-14 y 3-15. En forma similar, para Δl_X se consideran los tabiques horizontales comprendidos entre los puntos 5 – 8 y 9 -12, Figura 3. Ya obtenidos estas deformaciones específicas, se promedian dichos resultados en cada dirección, realizando luego la determinación del coeficiente de Poisson para cada instante de tiempo. Finalmente, estos valores son nuevamente promediados para la obtención de un coeficiente general en cada ensayo.

Resultados y Discusión

Con el software se pueden obtener los desplazamientos en cualquier punto de la superficie del ladrillo, pero para poder contrastar estos valores con los del adquisidor de datos se toma como punto de comparación la deformación en la esquina del ladrillo que se encuentra más cercana al flexímetro. En la tabla que se muestra más adelante, Figura 4, se pueden ver, para uno de los ensayos y para cada segundo de grabación, el desplazamiento en la dirección vertical del punto mencionado, como así también los valores de carga y desplazamiento arrojados por el adquisidor de datos. Además se muestra la baja diferencia porcentual entre los guarismos obtenidos por los dos métodos de medición para cada segundo de ensayo, haciendo notar el promedio de 8% para el caso mostrado. También se muestra la curva correspondiente a estos datos, donde la carga (Kg) se representa en el eje de las ordenadas y el desplazamiento (mm) en el eje de las abscisas. En un mismo gráfico se pueden ver las curvas correspondientes a ambos métodos de medición, y comparándolas se observa que se tratan de rectas prácticamente paralelas.



Figura 4– Tabla y curva correspondientes al primer ensayo.

En la Figura 5 se presentan los resultados de ensayo sobre los cuales se trabajó para la determinación de la relación entre las deformaciones volumétricas: Figura 5a gráfico carga-deformación, Figura 5b gráfico de desplazamientos verticales en función del tiempo y Figura 5c gráfico de desplazamientos horizontales en función del tiempo. En una primera instancia se determinó el rango de datos del gráfico carga deformación sobre el cual se observa un comportamiento lineal del ladrillo ensayado. Luego, sobre dicho rango se llevó a cabo la determinación del coeficiente que relaciona las deformaciones volumétricas horizontales y verticales.

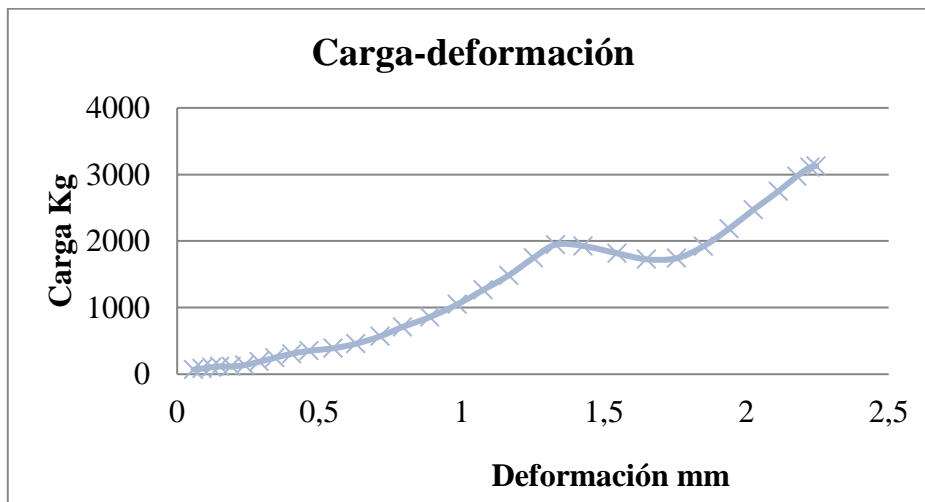


Figura 5a– Curva carga deformación ensayo.

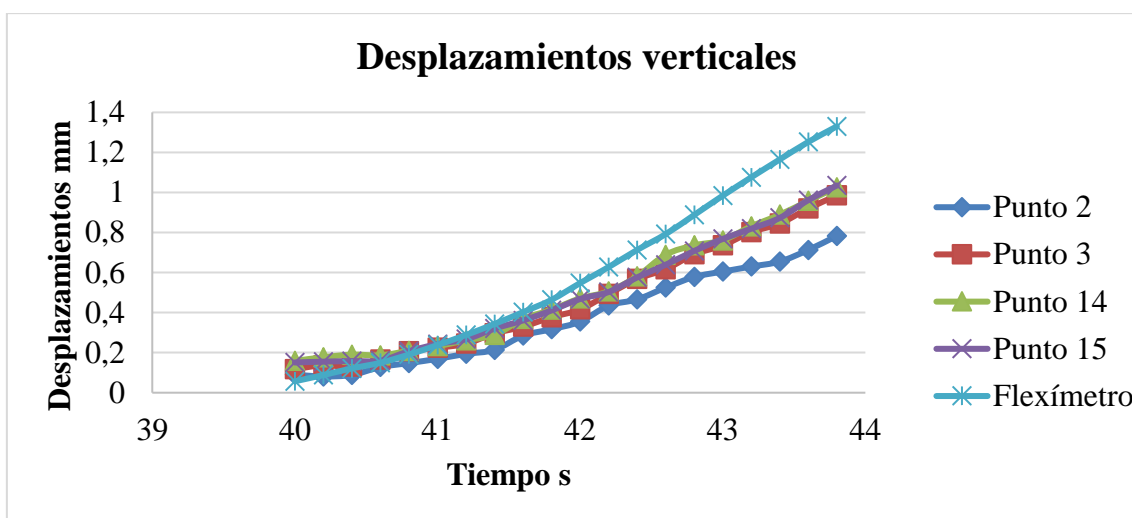


Figura 5b– Curva carga desplazamientos verticales en flexímetro y puntos 2, 3, 14 y 15.

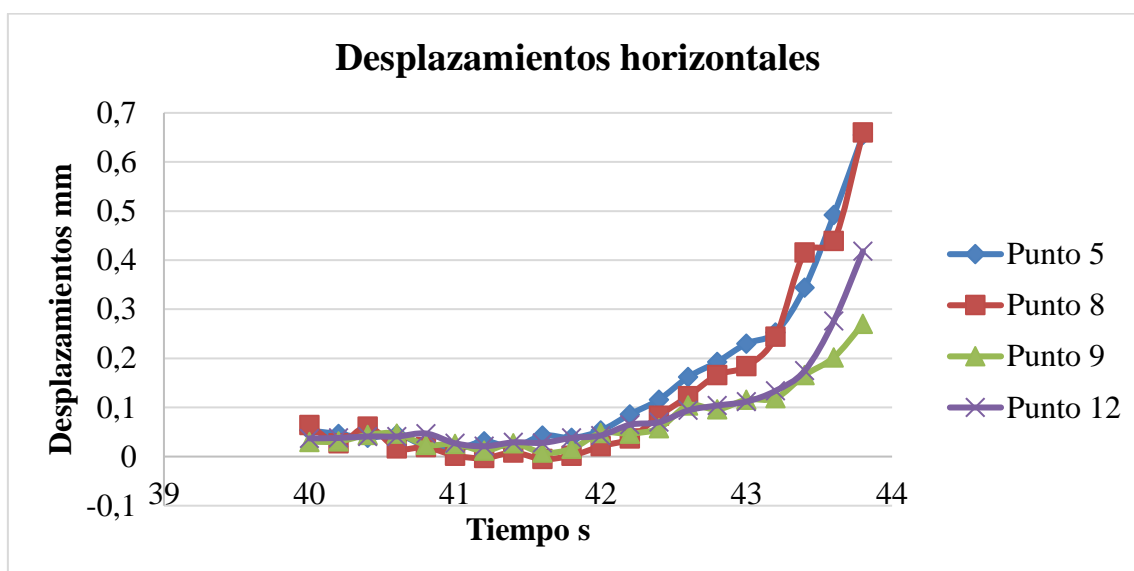


Figura 5c– Curva carga desplazamientos horizontales en puntos 5, 8, 9 y 12.

Figura 5-Resultados de ensayo empleados para la determinación del coeficiente de deformación volumétrica.

Los resultados obtenidos del coeficiente de relación entre deformaciones en ambos sentidos en los 6 ladrillos cerámicos huecos analizados se pueden observar en la figura 6 junto a otras propiedades de los mismos. Estos resultados muestran un amplio rango lo cual puede estar influenciado por cuestiones de calidad de las piezas como procedencia. Esto muestra la necesidad de extender el análisis a un mayor número de piezas con el fin de obtener valores estadísticos más confiables.

RESULTADOS DE ENSAYO	Ladrillo					
	1	2	3	4	5	6
Coefficiente de deformación volumétrica	0,307	0,311	0,346	0,578	0,74	0,784
Módulo de elasticidad [MN/m ²]	671,7	548,60	510,20	881,20	1085,00	970,70
Dimensiones k x l y [mm]	17,40x24,28x17,33	17,31x24,22x17,03	17,25x24,18x17,36	17,21x24,21x17,20	17,36x24,37x17,12	17,07x24,32x17,38
Carga de fisuración [kg]	3043,36	4227	3176	3399	2444	5642
Deformación vertical de fisuración [mm]	1,986	1,285	2,215	1,265	0,481	2,699

Figura 6– Resumen de propiedades obtenidas en el ensayo de compresión.

Conclusiones

La baja diferencia promedio entre los dos métodos de medición indica que se pueden medir las deformaciones con el uso del software GOM-correlate. Además, se destaca que las curvas Carga vs Desplazamiento de ambos métodos son prácticamente paralelas, lo que hace pensar que la diferencia entre ambas se debe a un error al momento de definir el inicio cada medición.

Si bien las comparaciones se realizan midiendo la deformación en un solo punto, el hecho de que exista consistencia entre los dos métodos permite asumir que las deformaciones arrojadas por el software en los demás puntos del ladrillo también pueden tomarse como válidos, por lo que tenemos el mapa de deformaciones completo en la dirección vertical. Del mismo modo, se pueden tener las deformaciones en la dirección horizontal, por más que no se haya efectuado la medición con flexímetros.

Se han obtenido valores del coeficiente que representa la relación entre las deformaciones en ambos sentidos de las piezas durante el ensayo de compresión. Los mismos son utilizables en el desarrollo de modelos sólidos elásticos equivalentes de las piezas. El amplio rango de resultados muestra la necesidad de aumentar la cantidad de ensayos con el fin de obtener valores estadísticos más confiables que sean representativos de la población.

Referencias

- [1] Xiangjun Dai, Fujun Yang, Zhenning Chen, Xinxing Shao, Xiaoyuan He. Strain field estimation based on digital image correlation and radial basis function. *Optics and Lasers in Engineering*, 65 (2015), 64-72.
- [2] Yue Gao, Teng Cheng, Yong Su, Xiaohai Xu, Yong Zhang, Qingchuan Zhang. High-efficiency and high-accuracy digital image correlation for three-dimensional measurement. *Optics and Lasers in Engineering*, 65 (2015), 73-80.
- [3] Huu-Luyen Nghiem, Marwan Al Heib, Fabrice Emeriault. Method based on digital image correlation for damage assessment in masonry structures, *Engineering Structures*, 86 (2015), 1-15.
- [4] López-Alba E, López-García R, Dorado R, Díaz F. A. (2012). Aplicación de correlación digital de imágenes para el análisis de problemas de contacto. XIX Congreso Nacional De

Ingeniería Mecánica. ISSN-0212-5072. Asociación Española de Ingeniería Mecánica. Castellón, España.

- [5] F.M. Sánchez- Arévalo, G. Pulos. Use of digital image correlation to determine the mechanical behavior of materials, *Materials Characterization* 53, (2008), 1572-1579
- [6] M.A. Sutton, J.H. Yan, V. Tiwari, H.W. Schreier, J.J. Orteu. The effect of out-of-plane motion on 2D and 3D digital image correlation measurements. *Optics and Lasers in Engineering*, 46 (2008), 746-757.
- [7] Dos Santos Ayres, Mauricio, Vogel, Alonso, Duarte, Javier, Reinert, Hugo, Detke, Fernando. Validación de deformaciones por técnica de correlación de imágenes digitales, Jornada FIO UNaM 2016.