

## **Análisis y evaluación comparativa del comportamiento de vigas de Mampostería y vigas de Concreto Reforzado.**

*Miguel Alejandro Artavia Pérez  
Ingeniero en Construcción, ITCR.*

Con la entrada en vigencia a partir del 2002 del Código Sísmico de Costa Rica se le brinda al profesional diseñador la posibilidad de utilizar la mampostería como un material de construcción alternativo que es evaluado a partir de criterios técnicos. Hay una serie de aspectos que requieren ser verificados con pruebas a escala natural, es ahí donde surgió la iniciativa de efectuar un estudio del comportamiento de vigas construidas con mampostería de concreto y vigas construidas con concreto convencional.

El objetivo de este estudio fue ensayar 18 muestras de vigas, incluyendo 9 de concreto y 9 de mampostería, cada modalidad con 3 peraltes distintos, con el fin de establecer una comparación en términos de desempeño a **flexión** y a cortante en las vigas que poseen iguales características geométricas. Los peraltes estudiados fueron:

- 20 cm. (Luz entre apoyos 2m).
- 40 cm. (Luz entre apoyos 4m).
- 60 cm. (Luz entre apoyos 4m).

Las vigas se procedieron a nombrar cada una con el siguiente código para así mencionarlas a lo largo del trabajo y en los gráficos donde se representarán los resultados.



Este estudio pretende la medición de la carga que soporta cada espécimen de acuerdo a la configuración de carga que se mostrará más adelante, además se midieron las deflexiones presentadas por cada viga en el centro del claro. Se efectuó un análisis de los resultados obtenidos y se hizo una comparación entre vigas de iguales dimensiones, construidas unas de concreto reforzado y otras de mampostería reforzada. (Vigas homólogas).

Se tuvo la limitante de que la aplicación de la carga fue manual y no automática como hubiera sido ideal. Inicialmente en el diseño del experimento se procedió emplear acero mínimo estipulado en el CSCR 2002 (14/fy), aros #2@15cm, ancho de viga de 13,6cm, resistencia del concreto de 210kg/cm<sup>2</sup> para las vigas de concreto reforzado y de 175kg/cm<sup>2</sup> para el concreto de relleno de celdas de las vigas de mampostería, viga-bloque modular clase A (43,6-13,6-19,3) (3 celdas), mortero de pega tipo A y acero grado 40. La construcción de los especímenes se dio con mano de obra convencional, es decir los especímenes construidos dan un parámetro realista de la construcción en Costa Rica de este tipo de elementos.

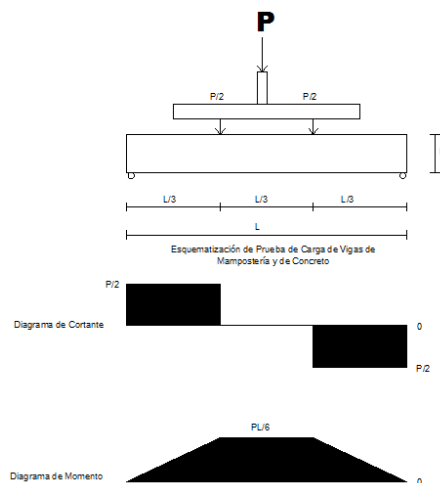


**Figura 1. Detalle de construcción de las BM60.**

El lugar donde se llevaron a cabo todas las pruebas tanto a las vigas como a los materiales constructivos fue el Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO) localizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), contó con el asesoramiento del Ing. Hugo Navarro Serrano, Ing. Mauricio Araya y el Ing. Sergio Fernández, además el apoyo de empresas como: Arcelormittal, Concrepal, Macoma, Cemex, Intaco, Adol, e instituciones como: ICCYC y el ITCR.

En lo que respecta a la falla de los especímenes se puede decir que se aplicaron dos cargas puntuales a cada tercio de la luz entre apoyos y se colocaron dos deformímetros para medir las deflexiones en el plano de los cuales se promediaron los valores obtenidos en cada uno para así tener un dato exacto de la deformación mostrada.

En la siguiente figura se aprecia el modelo típico de la forma en cómo se ensayaron los 18 especímenes en este estudio.



**Figura 2. Aplicación de la carga y diagramas (Cortante y Momento) esperados**



**Figura 3.** Aplicación de la carga a un espécimen de 20cm de peralte construido de mampostería (BM20).



**Figura 4.** Aplicación de la carga a espécimen de 40cm de peralte construido de concreto (BC40).

Todos los materiales empleados en la elaboración de las vigas se ensayaron de acuerdo a las normas estipuladas por ASTM que rigen para cada caso. Entre las pruebas más importantes que se efectuaron a los materiales están: al concreto fresco (revenimiento, contenido de aire, peso unitario, temperatura, cilindros para prueba de compresión), a los agregados (peso unitario, granulometría, colorimetría, gravedad específica), a las varillas (prueba de tensión), al mortero de pega (prueba de compresión a cubos) a los bloques, (prismas de mampostería, compresión de viga-bloques simple, absorción, peso unitario, área neta, volumen neto) al concreto de relleno de celdas (prueba de compresión).

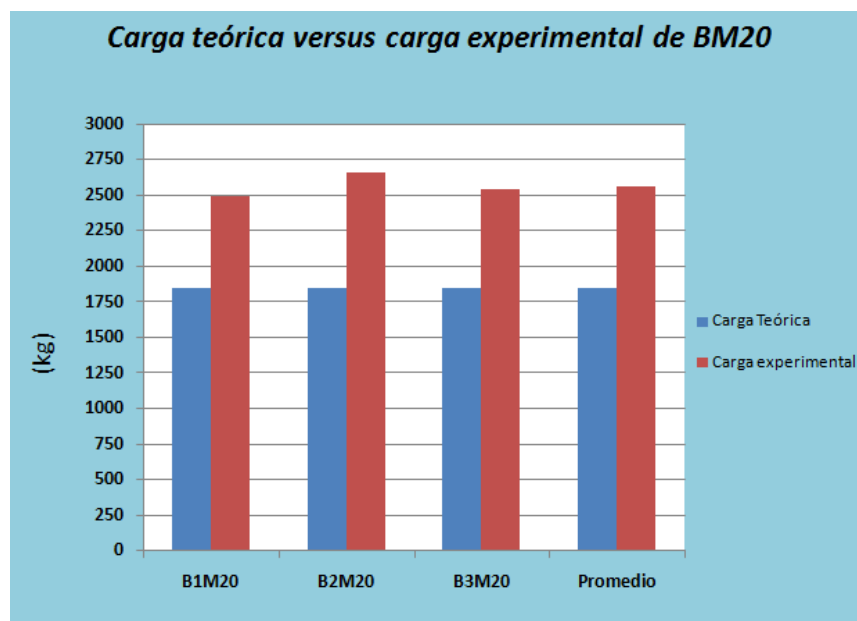
A continuación se muestra un cuadro resumen de algunos de los resultados de las pruebas realizadas a los materiales constructivos.

<b>Cuadro 1. Pruebas realizadas a los materiales.</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Compresión Concreto (f'c).	270	Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Mampostería (f'm)*	61*	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión acero #2 (fy). (Aros)	3750	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión acero #3 (fy). (B20).	3050	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión acero #4 (fy). (B40).	3020	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión acero #5 (fy). (B60).	3840	Kg/cm <sup>2</sup>
Relleno de celdas (f'c).	170	Kg/cm <sup>2</sup>
Mortero de pega.	270	Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Mampostería* unid.	153	Kg/cm <sup>2</sup>

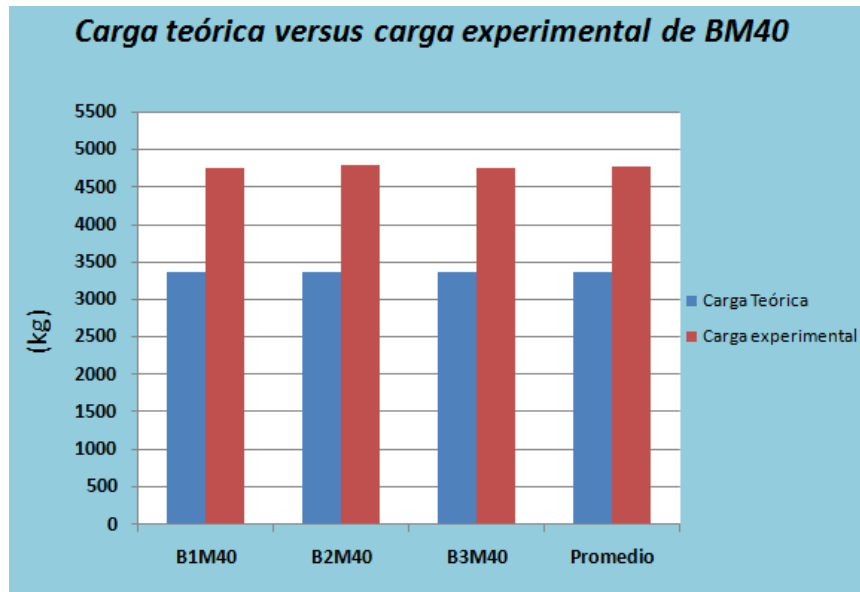
*\*Hubo una falla prematura ocasionada por las ranuras de los viga-bloques utilizados en la prueba de los prismas. Sin embargo en las pruebas a unidades simples el valor obtenido sobrepasó el mínimo para ser mampostería clase A según CSCR 2002.*

Los valores experimentados en las diferentes pruebas a los materiales se emplearon para tener un parámetro de lo cerca o lejos que se estuvo de los valores esperados en el diseño previo del experimento comentado anteriormente, además estos valores se emplearon para efectuar los cálculos teóricos de resistencia de cada espécimen ensayado.

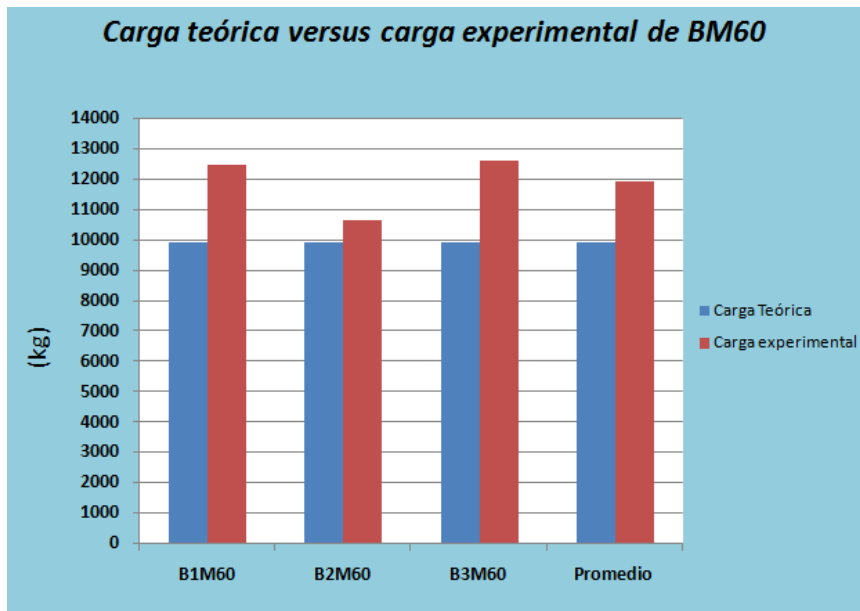
A continuación se muestran los gráficos donde se representan los resultados que se obtuvieron de la falla de los especímenes.



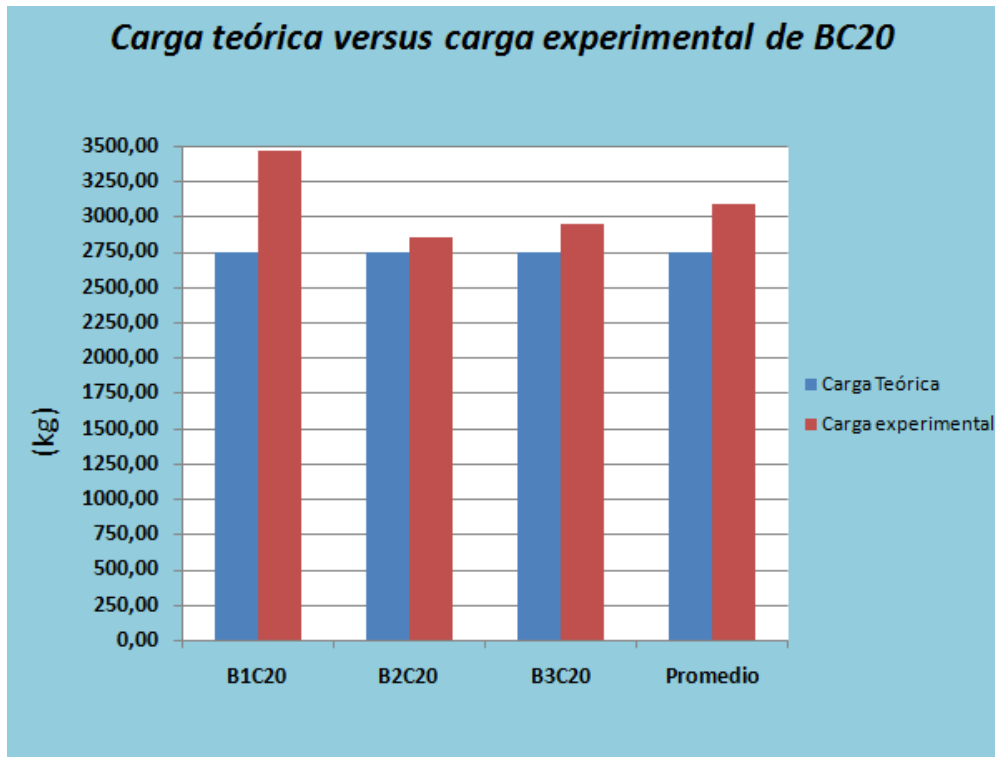
**Figura 5.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de mampostería de 20cm de peralte.



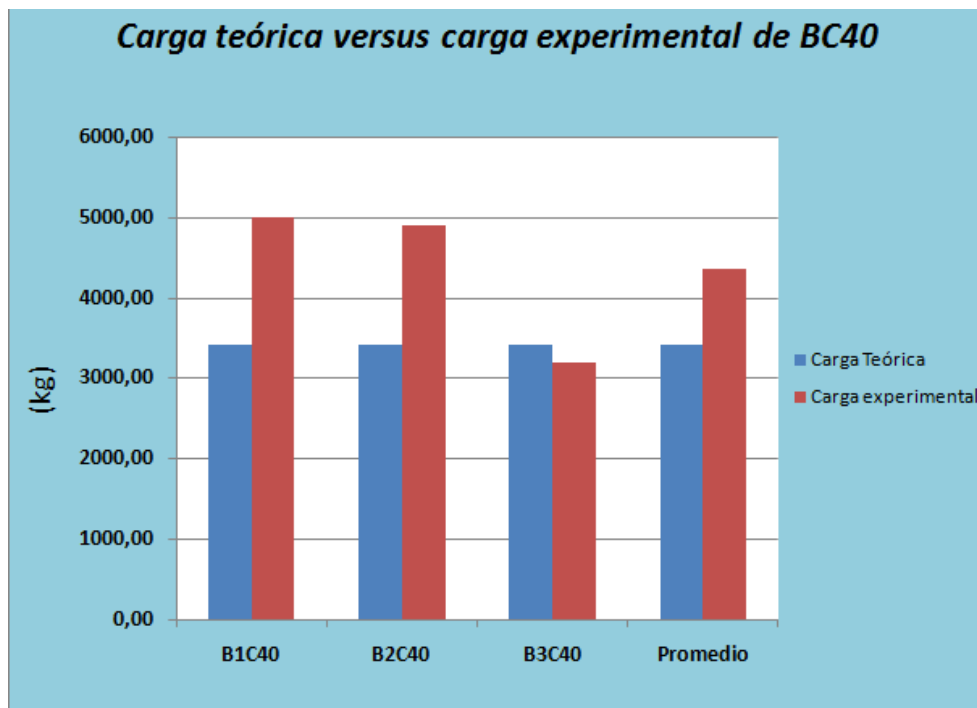
**Figura 6.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de mampostería de 40cm de peralte.



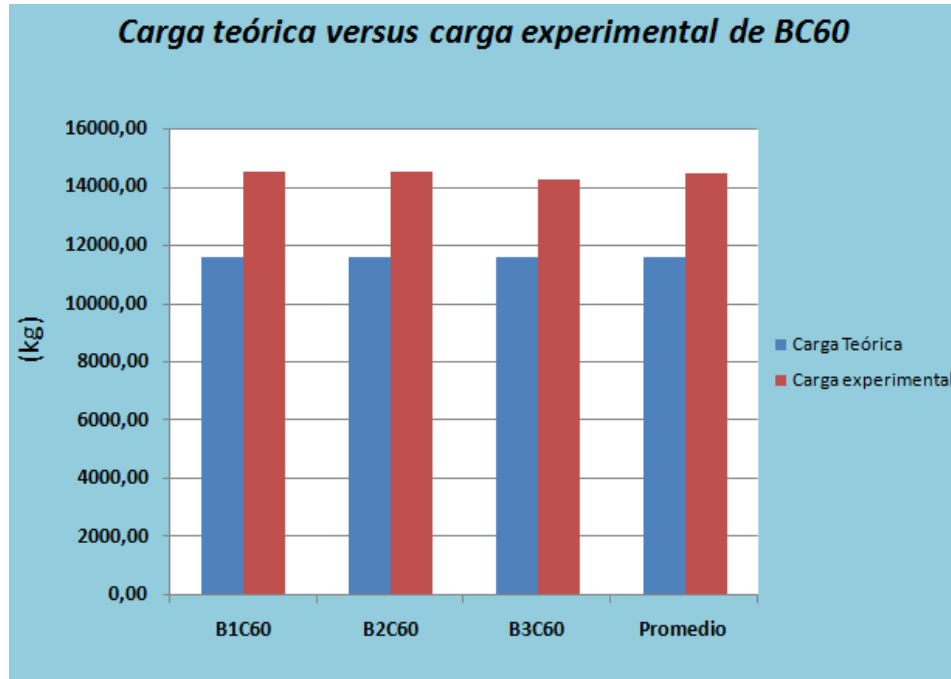
**Figura 7.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de mampostería de 60cm de peralte.



**Figura 8.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de concreto de 20cm de peralte.



**Figura 9.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de concreto de 40cm de peralte.



**Figura 10.** Resultados teóricos versus experimentales de vigas de concreto de 60cm de peralte.

La carga que se expresa en kg es la suma de las dos cargas puntuales aplicadas a L/3 de la distancia libre entre apoyos. El dato de resistencia teórica es en flexión, ya que los elementos de acuerdo a su configuración y dimensionamiento fallarían primero por flexión y luego por cortante y esto se cumplió. De acuerdo al diagrama de momento del experimento, el momento resistido por cada elemento se puede calcular de la siguiente manera:

$$M = \left( \frac{P * L}{6} \right) \quad (\text{ec. 1})$$

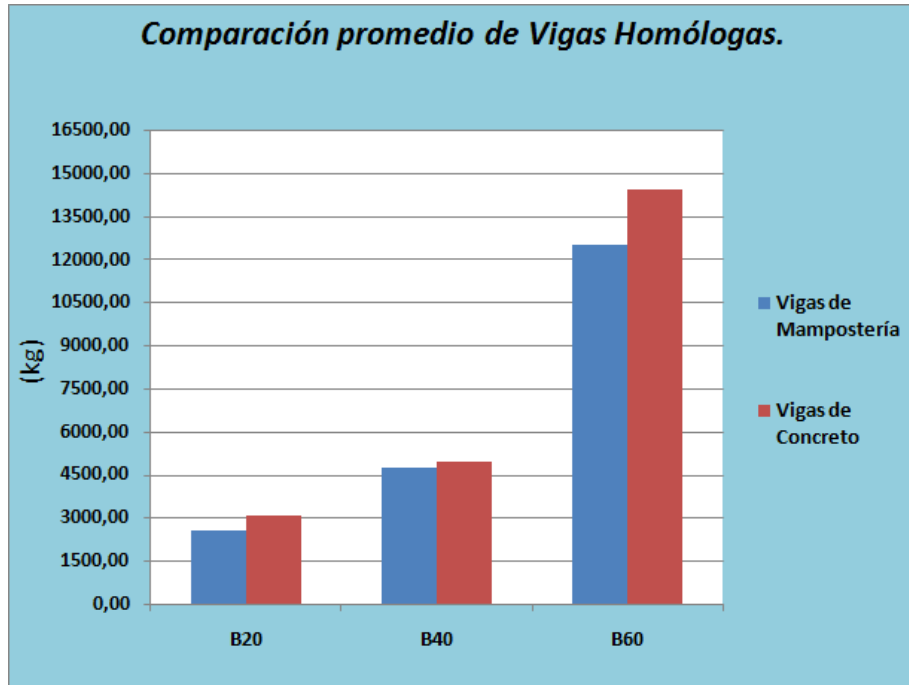
Donde:

M= Momento resistido. (kg-m).

P= Carga de los gráficos. (kg).

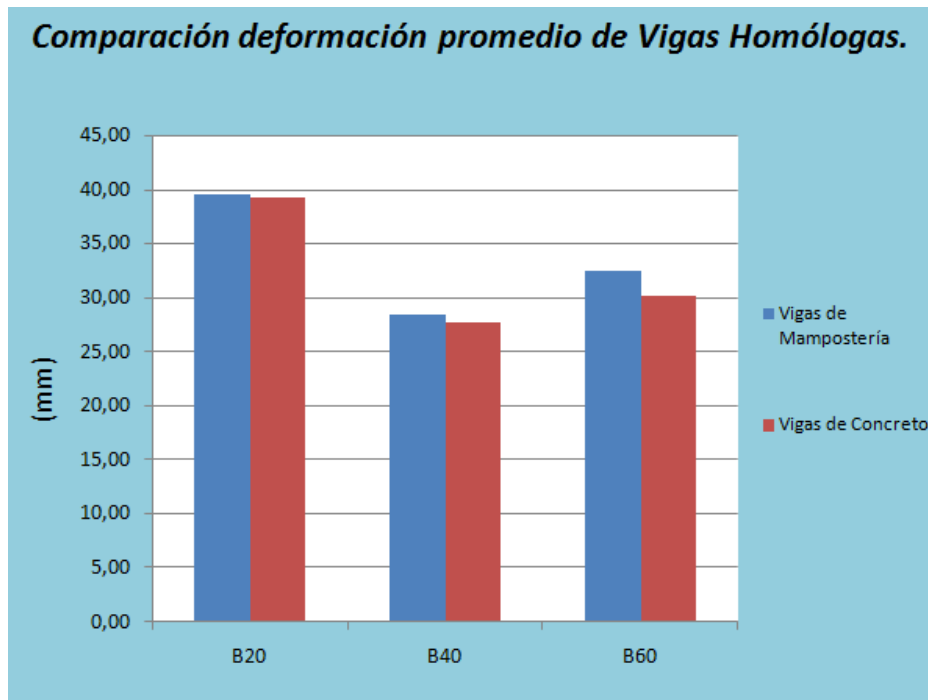
L= Luz libre entre apoyos simples. (m).

El siguiente gráfico sirve para realizar una comparación entre ambos sistemas constructivos de acuerdo los valores promedio de carga resistida mostrados anteriormente:



**Figura 11.** Comparación de Resultados experimentales en vigas homólogas.

El siguiente gráfico sirve para realizar una comparación entre ambos sistemas constructivos de acuerdo los valores promedio de deformación presentados en las fallas:



**Figura 12.** Comparación de Resultados experimentales en lo que respecta a deformaciones presentadas en vigas homólogas.

Los gráficos obtenidos de este estudio y presentados anteriormente muestran:

- La carga resistida de las BC20 superaron en un 20% la carga resistida por las BM20. Ambos sistemas superaron la carga teórica esperada y en cuanto a deformaciones se comportaron de manera similar ambos sistemas.
- La carga resistida de las BC40 superaron en un 4% la carga resistida por las BM40, en cuanto a deformaciones se comportaron de manera similar ambos sistemas.
- La carga resistida de las BC60 superaron en un 15% la carga resistida por las BM60. Ambos sistemas superaron la resistencia teórica esperada y en cuanto a deformaciones las BM60 se deformaron un 8% más que las BC60.
- Los tríos de vigas de concreto que se comportaron de una manera homogénea entre ellas tanto en carga resistida como en deformaciones fueron las BC20 y las BC60.
- Los tríos de vigas de mampostería que se comportaron de una manera homogénea entre ellas tanto en carga resistida como en deformaciones fueron las BM20 y las BM40.
- Como era lo esperado en esta prueba el agrietamiento por flexión se dio en el tercio medio de la distancia entre apoyos de las vigas que es donde de acuerdo al diagrama de momentos se da el valor de momento mayor.
- La utilización de la mampostería como material constructivo de vigas de carga como las estudiadas en este proyecto, es una muy buena alternativa para el profesional diseñador y se demuestra que es una opción confiable ya que los especímenes de mampostería al igual que los de concreto se comportaron de una manera adecuada y presentaron una ductilidad aceptable.

Al efectuar un estudio de este tipo nacen una serie de recomendaciones, entre ellas:

- Evaluar en un proyecto similar a éste, el comportamiento de especímenes como los estudiados en este proyecto, ante un diseño de experimento en donde se dé primero la falla por cortante, ya que en este trabajo se dio la falla primeramente por flexión como fue lo esperado.
- Se podría realizar un trabajo similar a este utilizando otro tipo de variables que puedan optimizar el desempeño estructural de los elementos.

Este proyecto fue desarrollado el I Semestre del 2009 y puede ser accesado mediante el ICCYC y mediante la Biblioteca José Figueres Ferrer del ITCR a partir del 20 de octubre de 2009.