

Densidad de la mampostería de concreto en Costa Rica

Density of concrete masonry in Costa Rica

Ing. Alejandro Navas Carro

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructuras (LANAMME), Universidad de Costa Rica. Apartado Postal 2060, UCR, San José, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Carolina Fonseca Mojica

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructuras (LANAMME), Universidad de Costa Rica. Apartado Postal 2060, UCR, San José, Costa Rica
carofons_93@hotmail.com

Recibido 15 octubre 2015

Aceptado 14 marzo 2016

Abstract

The purpose of this article is to inform about average values of concrete masonry density in Costa Rica. A series of previous studies made in the country related to the density of masonry components (concrete blocks, masonry grout and block pasting mortar) and masonry walls with different configurations of vertical and horizontal steel (including the effect of bond beams), were analyzed. In addition, a study took place to determine the density of plaster. The results were compared with international studies and manuals in order to identify differences. A series of recommendations are made, related to average values of masonry walls densities that can be used by designers in the country.

Keywords: Concrete masonry density, masonry grout, concrete blocks, block pasting mortar, plaster.

Resumen

En este artículo, se busca informar acerca de valores promedio de densidad de la mampostería de concreto en Costa Rica. Se analizaron los resultados obtenidos en estudios previos realizados a nivel nacional que investigaron la densidad individual de los componentes de la mampostería de concreto (bloques, concreto de relleno y mortero de pega). Asimismo, se analizó la densidad de muros con diferentes configuraciones de acero vertical y horizontal, en los que se comparó el efecto de utilizar viga bloque. Adicionalmente, se realizó un estudio para determinar la densidad del mortero de repello. Los resultados fueron comparados con otros estudios y manuales a nivel internacional, con el fin de identificar diferencias. De igual forma, se brindan recomendaciones acerca de valores de densidad promedio de muros de mampostería que pueden ser utilizados por diseñadores en el país.

Palabras clave: Densidad de la mampostería de concreto, concreto de relleno, bloques de concreto, mortero de pega, mortero de repello.



Aporte

Este estudio busca encontrar densidades promedio de los diversos componentes (bloques, mortero de pega, concreto de relleno, mortero de repello y acero de refuerzo) que conforman la mampostería de concreto en Costa Rica. Además, se busca determinar valores promedio de densidad de la mampostería nacional, en función de la separación del acero de refuerzo vertical y horizontal, del tamaño de bloque y del método de colocación del refuerzo horizontal, que puedan ser utilizados para realizar diseños con estructuras de mampostería de concreto en el país.

1. INTRODUCCIÓN

La densidad de los materiales de construcción es una propiedad importante, pues permite calcular cargas a las que estará sometida una estructura. Las paredes y otros elementos de mampostería aportan cargas permanentes considerables que deben ser tomadas en cuenta para llevar a cabo un diseño estructural adecuado y una evaluación de las fuerzas de sismo, las cuales son proporcionales a la masa de la estructura.

La densidad de los elementos de mampostería está conformada por la suma de las densidades de sus componentes: bloques, concreto de relleno, mortero de pega, mortero de repello y acero de refuerzo. Estas densidades, a su vez, están en función del espaciamiento del refuerzo vertical y horizontal, del tipo y tamaño de bloque, de la configuración del elemento (en caso de utilizar bloques modulares) y del uso de viga bloque, para la colocación del acero de refuerzo horizontal.

Actualmente, no hay estudios experimentales a nivel nacional en los que se informe acerca de los valores reales de densidad de los elementos de mampostería ni de sus componentes. Por este motivo, se considera importante contar con valores promedio de densidad de la mampostería de concreto en Costa Rica que representen la realidad y tomen en cuenta las variables mencionadas anteriormente. Esto con el fin de utilizar valores más representativos que permitan desarrollar diseños con un mayor nivel de seguridad.

1.1 Objetivos

- Obtener valores promedio para los diferentes componentes de la mampostería de concreto: bloques de concreto, concreto de relleno, mortero de pega y mortero de repello.
- Estudiar la densidad de la mampostería de concreto en función del tipo y tamaño de bloque, el espaciamiento del acero de refuerzo horizontal y vertical y el uso de viga bloque.
- Encontrar valores de densidad que puedan ser utilizados a la hora de realizar diseños de estructuras de mampostería.
- Comparar las densidades teóricas con resultados de estudios internacionales y con la densidad de prismas y paredes reales.

2. METODOLOGÍA

Se realizó un análisis de tres investigaciones previas realizadas a nivel nacional por Salazar (1), Acuña (2) y Acón (3), así como un estudio internacional elaborado por

Hedstrom y Hogan (4). Con la finalidad de obtener los resultados necesarios para la determinación de la densidad de la mampostería.

Salazar (1) en su proyecto Propiedades Geométricas y Densidad de la Mampostería de Concreto obtuvo la densidad de la mampostería en forma experimental y teórica. La densidad experimental se obtuvo mediante la construcción de prismas de mampostería; la densidad teórica, de los prismas correspondió al cálculo y suma de las densidades de cada uno de los componentes de la mampostería, los cuales se obtuvieron en condición seca y húmeda. Para el cálculo de la densidad del concreto de relleno y mortero de pega se utilizó la norma ASTM C642 (5). Para encontrar la densidad de los bloques se utilizaron los resultados de altura y área neta calculados previamente en su trabajo, los cuales fueron obtenidos para la misma muestra de bloques. Finalmente, se calcularon las densidades de paredes de mampostería, mediante la suma de las densidades de los componentes, en función del patrón de refuerzo vertical y horizontal y del uso de viga bloque.

El trabajo de Acón (3), denominado Influencia de la cal nacional en las propiedades del mortero para pega de bloques de mampostería, incluyó la fabricación de morteros de pega de bloques preparados con diferentes tipos de cal fabricadas en el país. Además, incorporó morteros preparados sin cal. Con el peso de los cubos de mortero en estado saturado y el cálculo del volumen, Salazar (1) obtuvo la densidad y utilizó estos resultados para complementar las densidades de mortero obtenidas en su trabajo.

Hedstrom y Hogan (4) elaboraron diferentes muestras de concreto de relleno, esto con el fin de investigar la relación entre la proporción de cemento/agregado y las características físicas del concreto de relleno y la mampostería rellena. Como parte de su trabajo, obtuvieron la densidad de las unidades de mampostería, mortero y concreto de relleno. La densidad de los bloques se calculó mediante las especificaciones y procedimientos de la norma ASTM C140 (6). Las densidades de los diferentes tipos de mortero se calcularon acatando el procedimiento de la norma ASTM C270 (7) y C780 (8). Para las densidades de los diferentes concretos de relleno se siguieron las normas ASTM.

El trabajo de Acuña (2), titulado Efectos del detallado horizontal sobre el comportamiento de muros cortantes de mampostería de concreto, incorporó la construcción de paredes de mampostería. Los pesos registrados se utilizaron para calcular la densidad de las paredes mediante su división entre el volumen bruto de la pared. Estos resultados, a su vez, se utilizaron para realizar una comparación con los resultados teóricos de Salazar (1).

Adicionalmente, en el LanammeUCR se fabricaron muestras de mortero de repello preempacado de seis productos diferentes, usados en el país, para la determinación de densidad y resistencia a la compresión. Estas muestras se prepararon con la dosificación de agua indicada en el saco y se colocaron en cámara húmeda. Posteriormente, se encontró su densidad mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM C642 (5).

2.1 Muestra

Se presentan las muestras empleadas para la determinación de las densidades de los componentes de la mampostería. Estas muestras corresponden a las utilizadas en

la elaboración del proyecto de Salazar (1). Las muestras de morteros corresponden a muestras fabricadas por Acón (3) y Salazar (1).

- Bloques: 162 bloques.
- Mortero de pega: un total de 48 cubos.
- 36 cubos de mortero tipo A, B y C: 18 cubos de mortero sin cal preparados por Acón (3) y 18 cubos con cal (9 preparados por Acón (3) y 9 preparados por Salazar (1)).
- 12 prismas de mortero preempacado clase S.
- Concreto de relleno: 9 prismas preparados con concreto clase B y la dosificación del CSCR 2010 (9). Se utilizó piedra quinta, arena de río y cemento UG.
- Prismas de mampostería: 54 prismas de dos bloques de altura, con concreto de relleno clase B y mortero de pega preempacado clase S. Se fabricó un prisma lleno y otro vacío para cada tamaño estándar.

A continuación, se describen las muestras preparadas por Acuña (2) para su trabajo: en total, se fabricaron ocho paredes de mampostería de 3,2 metros de longitud por 3 metros de alto, con bloques estándar de 12 cm. Cada una contó con varillas verticales #5, colocadas cada 60 cm, y varillas horizontales #3, colocadas cada 60 cm. Estas ocho paredes se distribuyeron de la siguiente manera:

- 4 Paredes con uso de viga bloque: una sin empalmes, una con empalme con gancho de 180° y dos con empalmes por traslapo en la zona central (muestras 2, 4, 7 y 8).
- 4 Paredes sin viga bloque: una sin empalme, una con empalme con gancho de 180° y dos con empalmes por traslapo en la zona central (muestras 1, 3, 5 y 6).
- Ahora se presentan las muestras preparadas por Hedstrom y Hogan (4).
- Bloques de 20x20x40 cm, clase A.
- Mortero: prismas de mortero tipo N y S, ambos compuestos por cemento portland y cal.
- Concreto de relleno, las muestras fueron identificadas según la razón cemento-agregado. Estas variables se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Denominación de las muestras de concreto de relleno, en función de la razón cemento-agregado

Muestras	HC4	HC5	HC8
Razón cemento-agregado	1:2.4:1.6	1:3:2	1:4.8:3.2

Fuente: Salazar (1) y Hedstrom y Hogan (4)
Modificado por: Autores, 2015

Finalmente se describen las muestras preparadas en el Lanamme UCR:

- 12 cubos de mortero de repello preempacado de seis marcas diferentes (72 cubos de mortero en total) para el cálculo de la densidad.

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos acerca de las densidades experimentales y teóricas de la densidad de la mampostería.

3.1 Densidad de componentes

3.1.1 Bloques de concreto

En su proyecto, Salazar (1) realizó el cálculo de la densidad en función de la bloquera y el tamaño de bloque, en condición seca y húmeda. Por su parte, el trabajo de Hedstrom y Hogan (4) contempló la determinación de la densidad de bloques de 20 x 20 x 40 cm. Los resultados de densidad obtenidos por ambos autores se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados estadísticos de la densidad de los bloques de concreto, según su tamaño.

		Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm	Modular 15 cm	Modular 30 cm	Modular 45 cm	
Salazar	Condición seca	x^- (kg/m ³)	2067	2085	2090	1992	2027	2000
		S (kg/m ³)	67.1	73.8	83.3	34.3	100.7	92.9
	Condición saturada	x^- (kg/m ³)	2243	2253	2256	2174	2206	2191
		s (kg/m ³)	54.6	59.5	65.3	28	72.1	66.3
			Bloque 20 cm					
	Condición seca	x^- (kg/m ³)	Resistencia alta		2204			

Fuente: Salazar (1); Hedstrom y Hogan, (4)

Modificado por: Autores, 2015

Al comparar los resultados, se observa que las densidades obtenidas por Salazar (1), para bloques en condición saturada, son mayores que las obtenidas en condición seca. Lo cual es un resultado esperado, pues el agua se acumula en los poros del elemento y genera un aumento de su masa. De manera general, los resultados de densidad obtenidos para los bloques en condición seca se encontraron entre 1992 kg/cm³ y 2090 kg/cm³ y para bloques en condición saturada las densidades se encontraron entre los 2174 kg/cm³ y los 2256 kg/cm³. En ambos casos, los bloques de menor densidad correspondieron a los modulares de 15 cm, mientras que los bloques de mayor densidad correspondieron a los de 20 cm.

Los resultados de Hedstrom y Hogan (4) muestran una densidad promedio de alrededor de 2200 kg/m³. Al comparar los resultados de los bloques utilizados por

Hedstrom y Hogan (4) con los resultados de Salazar (1), se encuentra una diferencia de 114 kg/cm^3 , la cual equivale a un 6.6%.

La comparación anterior puede ser visualizada en la Fig 1, donde se muestran las densidades obtenidas por ambos autores en función del tipo y tamaño de bloque, su condición de humedad y resistencia.

La ASTM C90 (10) define tres clasificaciones para los bloques de concreto, de acuerdo con su densidad en estado seco al horno, ver Tabla 3.

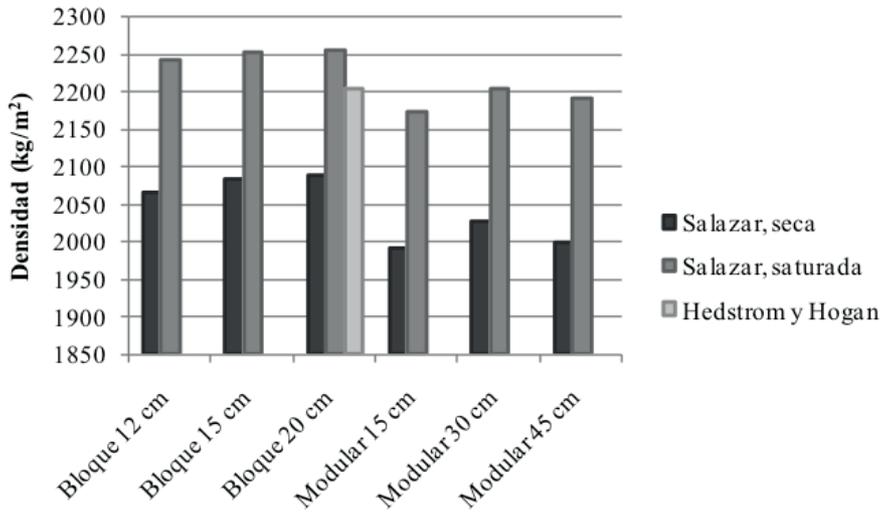


Figura 1. Densidades obtenidas por ambos autores, según condición de humedad y tipo de bloque

Tabla 3. Clasificación de bloques de acuerdo con su densidad, según la ASTM C90 (10)

Tipo	Densidad (kg/m^3)
Liviano	< 1680
Medio	Entre 1680 y 2000
Normal	≥ 2000

Fuente: ASTM (10)

3.1.2 Concreto de relleno

Para determinar la densidad del concreto de relleno, Salazar (1) construyó los prismas de acuerdo con la norma ASTM C1019 (11), esto con el fin de tomar en cuenta el efecto de la absorción del bloque de concreto. Posteriormente, se realizó el cálculo de la densidad en condición seca, humedad ambiente y saturada. Los resultados estadísticos se presentan en la Tabla 4. En el caso de Hedstrom y Hogan (4), los prismas también consideraron el efecto de la absorción de agua de los bloques, los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4. Resultados estadísticos de densidad y absorción del concreto de relleno obtenidos por Salazar (1).

	Densidad (kg/m^3)			Absorción (%)	
	Seca	%w _{amb}	Saturada	%w _{amb}	Saturada
\bar{x} (kg/m^3)	2142	2216	2297	3.5%	7.3%
s (kg/m^3)	63.7	24.9	12.8	2.1%	2.7%

Fuente: Salazar (1)

Modificado por: Autores, 2015

Tabla 5. Resultados de densidad del concreto de relleno de acuerdo con su relación W/C, obtenidos por Hedstrom y Hogan (4).

Espécimen	Relación W/C	Densidad (kg/m^3)
HC4	0.54	2350
HC5	0.68	2352
HC8	1.02	2308
	Promedio	2337

Fuente: Hedstrom y Hogan (4)

Modificado por: Autores, 2015

En la Tabla 4, se observa que la densidad del concreto de relleno aumenta con su porcentaje de humedad. El valor mínimo de densidad correspondió a 2141 kg/cm^3 para la condición seca y un máximo de 2297 kg/cm^3 para la condición saturada, por lo que se observó una diferencia de 156 kg/cm^3 producto de la condición de humedad en la muestra. La Tabla 5 contiene los resultados obtenidos por Hedstrom y Hogan (4) de la densidad de cada muestra de concreto de relleno. Se observan diferencias entre los autores; no obstante, estas son inferiores al 10% y pueden estar ligadas a diferencias en los contenidos de humedad, características y proporciones de los materiales utilizados.

3.1.3 Mortero de pega

Se determinó la densidad de los 48 cubos de mortero, los cuales formaron parte de los proyectos de Acón (3) y Salazar (1). Con los resultados obtenidos, se calcularon los valores promedio y la desviación estándar para cada tipo de mortero, según su porcentaje de humedad. Estos se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Promedio y desviación estándar de la densidad del mortero de pega.

		Seca (kg/m ³)	%wamb (kg/m ³)	Saturada (kg/m ³)
\bar{x} (kg/m ³)	Sin Cal (18 cubos) (1)	-	-	2290
	Con Cal (18 cubos)(2)	1990	2110	2242
	Preempacado I – Pega de bloques (9 cubos)	1800	1920	2069
	Preempacado I – Pega de bloques – Muestras 10, 11 y 12 (3 cubos)(3)	1881	1953	2101
s (kg/m ³)	Sin Cal (18 cubos)	-	-	12.2
	Con Cal (18 cubos)	14.1	25.5	28.1
	Preempacado I – Pega de bloques (9 cubos)	8.9	10.4	9.5
	Preempacado I – Pega de bloques – Muestras 10, 11 y 12 (3 cubos)(3)	5.4	4.1	2.1

(1) Resultados obtenidos por Acón (3).

(2) Resultados obtenidos por muestras de Acón (3) y Salazar (1).

(3) Las muestras 10, 11 y 12 corresponden al mortero muestreado durante la construcción de los prismas de mampostería.

Fuente: Salazar (1)

Modificado por: Autores, 2015

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de los porcentajes de humedad del mortero de pega.

		%wamb (%)	Saturada (%)
\bar{x} (%)	Sin Cal (18 cubos) (1)	-	-
	Con Cal (18 cubos) (2)	6.0%	12.6%
	Preempacado I – Pega de bloques (9 cubos)	6.6%	14.9%
	Preempacado I – Pega de bloques – Muestras 10, 11 y 12 (3 cubos) (3)	3.8%	11.7%
s (%)	Sin Cal (18 cubos) (1)	-	-
	Con Cal (18 cubos) (2)	0.59%	0.28%
	Preempacado I – Pega de bloques (9 cubos)	0.46%	0.18%
	Preempacado I – Pega de bloques – Muestras 10, 11 y 12 (3 cubos)(3)	0.08%	0.23%

(1) Resultados obtenidos por Acón (3).

(2) Resultados obtenidos por muestras de Acón (3) y Salazar (1).

(3) Las muestras 10, 11 y 12 corresponden al mortero muestreado durante la construcción de los prismas de mampostería.

Fuente: Salazar (1)

Modificado por: Autores, 2015

Se observa que las mayores densidades las presentaron los morteros preparados in situ, los cuales mostraron valores cercanos a 200 kg/m^3 por encima de los morteros preempacados. Sin embargo, los morteros preempacados fueron los que presentaron las menores desviaciones estándar, tanto en densidad como en porcentaje de humedad.

Los resultados de Hedstrom y Hogan (4), con respecto a la densidad de los morteros, de acuerdo con el tipo y su proporción volumétrica puede observarse en la Tabla 8.

Tabla 8. Densidad del mortero en función de su tipo y composición

Mortero	N		S	
Proporciones volumétricas				
Cemento portland	1		1	
Cal	1 1/4		1/2	
Arena	6 3/4		4 1/2	
Número de muestra	1	2	1	2
Densidad (kg/m^3)	2078	2086	2110	2156

Fuente: Hedstrom y Hogan (4)

Los resultados indican que el mortero de pega cuenta con una densidad de entre 2078 y 2156 kg/m^3 . El mortero tipo N muestra menores resultados que el mortero tipo S, lo cual se puede encontrar relacionado con la resistencia a la compresión, pues el mortero tipo N es de menor resistencia que el tipo S.

Al comparar los resultados de ambas investigaciones, se encuentran diferencias en las densidades, las cuales se pueden deber a las diferentes clases de mortero fabricados por ambos autores, diferencias en las proporciones, condiciones de humedad y propiedades de los materiales.

De manera complementaria, se calculó la densidad de diferentes morteros de repello preempacado comercializados en el país, con el fin de obtener datos reales de su densidad. Se considera que el repello tiene un impacto importante sobre las cargas totales de los muros, pues este tipo de acabado puede alcanzar hasta 25 mm de espesor por cada lado.

Tabla 9. Densidad de las muestras de mortero de repello

Número de muestra	Densidad (kg/m^3)
1	1693
2	1662
3	1688
4	1801
5	1304
6	1621
Promedio	1628

Fuente: Autores, 2015

Como se observa en la Tabla 9, las densidades de las diferentes muestras presentan una variabilidad importante, pues se obtuvieron densidades comprendidas entre los 1300 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 . Se considera que estas variaciones pueden estar relacionadas con diferencias en el proceso de formulación y fabricación de los diferentes productos. El promedio general de las seis muestras corresponde a 1628 kg/m^3 ; no obstante, por seguridad se recomienda utilizar el valor máximo de 1800 kg/m^3 , pues en la práctica se desconoce el valor real de la densidad del mortero de repello que será aplicado.

Si se comparan estos resultados con los del mortero de pega presentados anteriormente, específicamente con los morteros preparados in situ, es evidente que las densidades para el mortero de repello preempacado tienden a ser menores. Esto puede ser producto del uso de diferentes aditivos en la fabricación de los morteros de repello preempacados, especialmente aditivos inclusores de aire.

3.1.4 Refuerzo vertical y horizontal

Los diámetros de varilla utilizados en el refuerzo horizontal y vertical de las paredes de mampostería fueron elegidos por Salazar (1) con base en el Código Sísmico de Costa Rica 2010, donde se especifica que el diámetro de la varilla no debe exceder un octavo del espesor nominal del bloque de concreto, ver Tabla 10. Según esta especificación, se utilizaron los diámetros de varilla especificados en la Tabla 11 para cada tamaño de bloque. Los diámetros y densidades de las varillas de acero en unidades de kg/m se obtuvieron de la norma ASTM A615 (12).

Tabla 10. Espesor nominal y diámetro máximo de la varilla en el bloque de concreto.

	BLOQUE 12 CM	BLOQUE 15 CM	BLOQUE 20 CM	MODULAR
Espesor nominal (cm)	12	15	20	13.6
t/8 (cm)	1.5	1.9	2.5	1.7

Fuente: Salazar (1)

Tabla 11. Diámetro, peso unitario y tipo de bloque asignado al refuerzo vertical.

	Varilla #4	Varilla #5	Varilla #6	Varilla #8
Diámetro (cm)	1.27	1.59	1.91	2.54
Peso (kg/m)	0.99	1.55	2.24	3.97
Tipo bloque	Ref. Horizontal	Bloque 12 cm / Modular	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm

Fuente: Salazar (1)

3.2. Densidad experimental y teórica de los prismas

Esta etapa de la investigación de Salazar (1) contempló la construcción de prismas compuestos por dos bloques estándar de diferentes dimensiones (bloques de 12, 15 y 20 cm), tanto rellenos como no rellenos. La finalidad fue obtener la densidad experimental de estos especímenes y, luego, poder compararla con la densidad teórica, al sumar las densidades individuales de los componentes.

La Tabla 12 muestra los resultados promedio experimentales para cada tipo de bloque, así como su desviación estándar.

Tabla 12. Resultados estadísticos de la densidad de los prismas rellenos y no rellenos.

	Densidad prisma no relleno			Densidad prisma relleno		
	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm
\bar{x} (kg/m ³)	2189	2201	2152	2176	2210	2195
s (kg/m ³)	87.7	63.5	101.4	46.0	50.2	53.7

Fuente: Salazar (1)

Para el cálculo de la densidad teórica, se utilizaron los valores de densidades de la Tabla 13, donde se supusieron valores de humedad ambiente

Tabla 13. Densidad y humedad supuesta de los componentes de la mampostería

	Densidad (kg/m ³)	Humedad (%)
Mortero In Situ(1)	2100	5.5%
Mortero Preempacado	2000	6.3%
Concreto Relleno	2200	2.7%
Bloque de Concreto	2150	3.8%

(1) Se denomina mortero in situ al mortero preparado manualmente.

Fuente: Salazar (1)

Con todos los datos mencionados, se calculó el peso teórico de los prismas y se comparó con el experimental, ver Tabla 14. Con estos resultados, fue posible comprobar los valores de densidad individual de los componentes, pues los porcentajes de error fueron pequeños. Además, se comprobó que las posibles diferencias entre los porcentajes de humedad ambiente reales y los supuestos generan errores bajos.

Tabla 14. Comparación entre el peso teórico y experimental de los prismas de concreto.

		Peso (kg)			% Error		
		Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque
Prisma	Detalle	12 cm	15 cm	20 cm	12 cm	15 cm	20 cm
Teórico	No Relleno	22.6	26.7	34.5	0.9%	2.6%	0.7%
	Relleno	40.5	50.7	67.7	1.6%	0.3%	0.1%
Experimental	No Relleno	22.8	27.4	34.3	-	-	-
	Relleno	39.9	50.9	67.7	-	-	-

Fuente: Salazar (1)

3.3 Densidad teórica de la mampostería de concreto

Para el cálculo de la densidad teórica de la mampostería, Salazar (1) utilizó una pared de 1 m² de bloques estándar y una pared de 103.6 cm de longitud con bloques modulares, donde utilizó las densidades de los componentes individuales. La Tabla 15 muestra los resultados de densidad de la pared de mampostería, en función del espaciamiento del refuerzo vertical y horizontal. Estos corresponden a una pared construida sin viga bloque; es decir, una pared en la que el refuerzo horizontal no se encuentra completamente embebido en el concreto.

A continuación, se presentan los resultados de densidades, según el patrón de refuerzo horizontal y vertical, para el caso de paredes en las cuales se utiliza viga bloque para colocar el acero horizontal (acero completamente embebido en concreto).

Es importante aclarar que las densidades expuestas en las tablas anteriores no incluyen el mortero de repello, el cual generará valores mayores de densidad en función de su espesor y número de capas.

A continuación, se mostrarán las tablas de Salazar (1) en las que se indican los porcentajes de incremento en la densidad de la mampostería al utilizar viga bloque, en comparación con la mampostería sin viga bloque, según el tamaño de bloque y el espaciamiento vertical y horizontal (Tabla 17).

Por último, se presentan los resultados obtenidos por Salazar (1) para el porcentaje de densidad aportada por los bloques y el concreto de relleno, en contraste con la densidad total de la mampostería, para elementos construidos sin viga bloque y con viga bloque (Tabla 18 y Tabla 19). Se aprecia que en ambos casos, los bloques de concreto en conjunto con el concreto de relleno representan alrededor de un 90% de la densidad total de la mampostería; por lo tanto, el mortero de pega y el refuerzo vertical y horizontal aportan el restante 10% de densidad.

Tabla 15. Densidad por m^3 de la pared de mampostería, según tipo de bloque y patrón de refuerzo vertical y horizontal, caso de refuerzo horizontal sin viga bloque.

Bloque 12 cm (Densidad en kg/m^3)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2264	2243	2237	2233
@40 cm	1766	1745	1738	1735
@60 cm	1600	1579	1572	1569
@80 cm	1517	1496	1489	1486

Bloque 15 cm (Densidad en kg/m^3)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2267	2251	2245	2242
@40 cm	1730	1713	1707	1705
@60 cm	1550	1534	1528	1525
@80 cm	1461	1444	1439	1436

Bloque 20 cm (Densidad en kg/m^3)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2285	2272	2268	2266
@40 cm	1717	1705	1701	1699
@60 cm	1528	1516	1512	1510
@80 cm	1434	1421	1417	1415

Bloque Modular (Densidad en kg/m^3)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2298	2280	2274	2272
@40 cm	1802	1784	1779	1776
@60 cm	1660	1643	1637	1634
@80 cm	1554	1536	1531	1528

Fuente: Salazar (1)

Tabla 16. Densidad por m³ de la pared de mampostería, según tipo de bloque y patrón de refuerzo vertical y horizontal, caso de refuerzo horizontal con viga bloque.

Bloque 12 cm (Densidad en kg/m ³)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2264	2243	2237	2233
@40 cm	2208	1966	1886	1845
@60 cm	2190	1874	1769	1716
@80 cm	2181	1828	1710	1652

Bloque 15 cm (Densidad en kg/m ³)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2267	2251	2245	2242
@40 cm	2205	1951	1866	1824
@60 cm	2184	1851	1740	1684
@80 cm	2174	1801	1676	1614

Bloque 20 cm (Densidad en kg/m ³)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2285	2272	2268	2266
@40 cm	2209	1951	1865	1822
@60 cm	2184	1844	1730	1674
@80 cm	2171	1790	1663	1599

Bloque Modular (Densidad en kg/m ³)				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	2298	2280	2274	2272
@40 cm	2228	1997	1920	1882
@60 cm	2208	1917	1819	1771
@80 cm	2193	1856	1744	1687

Fuente: Salazar (1)

Tabla 17. Porcentajes de incremento en la densidad de la pared de mampostería con viga bloque con respecto a la densidad de la pared de mampostería sin viga bloque, según tipo de bloque y patrón de refuerzo vertical y horizontal.

Bloque 12 cm				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	0%	0%	0%	0%
@40 cm	25%	13%	8%	6%
@60 cm	37%	19%	13%	9%
@80 cm	44%	22%	15%	11%

Bloque 15 cm				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	0%	0%	0%	0%
@40 cm	27%	14%	9%	7%
@60 cm	41%	21%	14%	10%
@80 cm	49%	25%	17%	12%

Bloque 20 cm				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	0%	0%	0%	0%
@40 cm	29%	14%	10%	7%
@60 cm	43%	22%	14%	11%
@80 cm	51%	26%	17%	13%

Bloque Modular				
Horizontal \ Vertical	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
@20 cm	0%	0%	0%	0%
@40 cm	24%	12%	8%	6%
@60 cm	33%	17%	11%	8%
@80 cm	41%	21%	14%	10%

Fuente: Salazar (1)

Tabla 18. Porcentaje de la densidad total aportada por el concreto de relleno y los bloques, según tamaño de bloque y espaciamiento del refuerzo vertical, sin uso de viga bloque.

Refuerzo Vertical	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm	Bloque Modular
@20 cm	92%	92%	91%	91%
@40 cm	91%	91%	91%	90%
@60 cm	91%	91%	91%	90%
@80 cm	91%	91%	91%	90%

Fuente: Salazar (1)

Tabla 19. Porcentaje de la densidad total aportada por el concreto de relleno y los bloques, según tamaño de bloque y espaciamiento del refuerzo vertical, con uso de viga bloque.

Refuerzo Vertical	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm	Bloque Modular
@20 cm	92%	92%	91%	91%
@40 cm	92%	89%	86%	91%
@60 cm	93%	88%	84%	92%
@80 cm	93%	88%	83%	92%

Fuente: Salazar (1)

3.4 Densidad experimental de la mampostería de concreto

Finalmente, es posible establecer una comparación entre los resultados de densidad teóricos de la mampostería obtenidos y los valores experimentales obtenidos a partir de la elaboración de paredes. Seguidamente, se presentan los resultados de densidad obtenidos a partir del trabajo de Acuña (2), para paredes de 3,2 metros de longitud por 2,4 metros de altura, construidas con bloques de 12x20x40 y con varillas #3 como refuerzo vertical y varillas #5 como refuerzo horizontal, colocadas en ambos casos a cada 60 cm. En dicho trabajo, se elaboraron ocho paredes en total, de las cuales cuatro fueron construidas con viga bloque y cuatro sin viga bloque.

Se debe aclarar que tanto las dimensiones de las paredes como los diámetros de las varillas utilizadas como refuerzo horizontal y vertical en el trabajo de Acuña (2), difieren de las dimensiones de pared estudiadas y de los diámetros de varilla utilizados en el análisis de Salazar (1). Asimismo, cada pared presenta diferencias en cuanto al empalme del acero horizontal: dos no presentan empalmes, cuatro presentan empalmes sin ganchos y dos cuentan con empalmes con gancho.

A partir de los pesos de las paredes elaboradas, se calculó su densidad en kg/m^3 y se obtuvo el promedio para las paredes construidas sin viga bloque y con viga bloque, ver Tabla 20 y Tabla 21. De nuevo, estos resultados no contemplan el mortero de repello.

Tabla 20. Densidad experimental por m^3 de paredes construidas sin viga bloque

Número de pared	Peso Pared (kg)	Densidad (kg/m^3)
1	1528	1658
3	1557	1689
5	1635	1774
6	1659	1800
Promedio	1595	1730

Espaciamiento del acero a cada 60 cm en ambas direcciones

Fuente: Autores, 2015

Tabla 21. Densidad experimental por m^3 de paredes construidas con viga bloque

Número de pared	Peso Pared (kg)	Densidad (kg/m^3)
2	1737	1885
4	1712	1858
7	1477	1603
8	1568	1701
Promedio	1624	1762

Espaciamiento del acero a cada 60 cm en ambas direcciones

Fuente: Autores, 2015

Luego, se realizó una comparación entre los resultados promedio obtenidos de manera experimental con las paredes de Acuña (2) y los valores teóricos determinados por Salazar (1), específicamente los valores correspondientes al bloque de 12 cm y con espaciamiento de 60 cm en el acero vertical y horizontal, tanto para la pared con viga bloque como sin viga bloque, ver Tabla 22.

Tabla 22. Comparación entre densidad experimental y teórica.

	Tipo	Densidad (kg/m^3)	% Error
Experimental	Viga bloque	1762	0,42
	Sin viga bloque	1730	10,08
Teórico	Viga bloque	1769	-
	Sin viga bloque	1572	-

Fuente: Autores, 2015

Se aprecia que, a pesar de las diferencias en cuanto a los diámetros de acero utilizados para el cálculo teórico y el caso experimental, los porcentajes de error obtenidos no son significativos en el caso de utilizar viga bloque. En el caso de no utilizar viga bloque, se presentan mayores porcentajes de error: alrededor de un 10%. Se considera que los resultados son confiables, dado los factores de seguridad que se utilizan en diseño estructural.

Los resultados anteriores pueden ser comparados con el manual del NCMA TEK 14-13B (13), donde se incluyen pesos de muros de mampostería para diferentes separaciones de concreto de relleno, espesores, tipos y densidad de bloques. Estos valores están dados para las siguientes suposiciones: juntas de mortero de 9.5 mm de espesor y densidades de alrededor de 2000 kg/m³ y 2240 kg/m³ para el mortero y concreto de relleno, respectivamente.

A continuación, se presentan algunos valores de pesos de muros recomendados por este manual que se consideran más representativos de las condiciones calculadas por Salazar (1), ver Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 23. Peso de muros de concreto compuestos por bloques de 15 cm de espesor.

	Densidad del bloque (kg/m ³)		Densidad promedio del bloque (kg/m ³)
	2003	2163	2083
Separación del concreto de relleno (cm)	Peso del muro (kg/m ²)		Peso promedio del muro (kg/m ²)
203	303	313	308
406	220	230	225
610	191	200	196
812	181	191	186

Fuente: NCMA (13)
Modificado por: Autores, 2015

Tabla 24. Peso de muros de concreto compuestos por bloques de 20 cm de espesor.

	Densidad del bloque (kg/m ³)		Densidad promedio del bloque (kg/m ³)
	2003	2163	2083
Separación del concreto de relleno (cm)	Peso del muro (kg/m ²)		Peso promedio del muro (kg/m ²)
203	411	420	416
406	293	308	301
610	254	269	262
812	235	249	242

Fuente: NCMA (13)
Modificado por: Autores, 2015

Se compararon los valores brindados por el manual, con los cálculos realizados por Salazar (1) en su trabajo. Para esto, se multiplicaron los valores de densidad por el ancho del bloque para obtener las densidades en kg/m^2 , ver Fig 2.

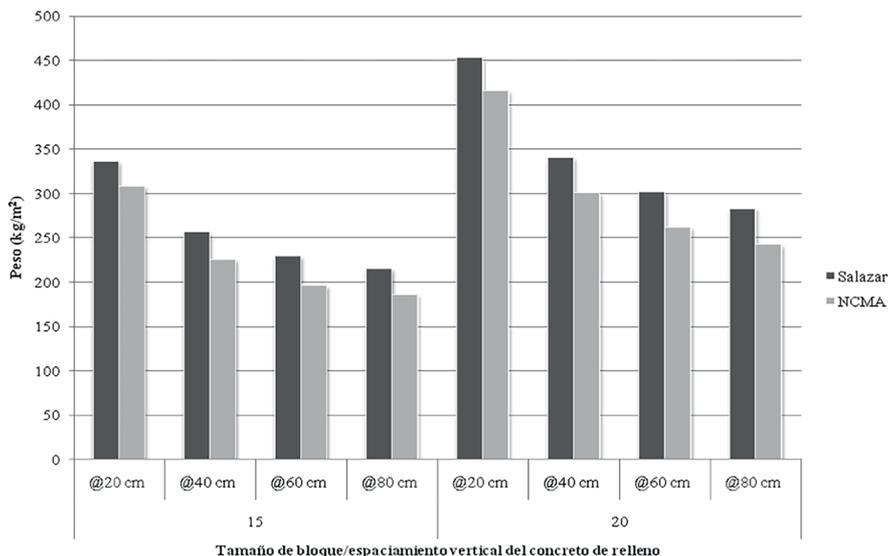


Figura 2. Peso en kg/m^2 de muros en función del tamaño de bloque y el espaciamiento vertical del concreto de relleno.

Fuente: Autores, 2015

Se observa que los resultados son similares para ambos tipos de bloques. Las diferencias obtenidas se encontraron entre un 9% y un 17% y son producto de diferencias en: a) densidades utilizadas para el cálculo de los pesos, b) altura del muro supuesta, c) la presencia de acero vertical y horizontal.

4. CONCLUSIONES

- Los bloques de concreto poseen densidades que oscilan entre 2067 kg/m^3 y 2243 kg/m^3 , en función de su condición de humedad.
- El concreto de relleno cuenta con densidades que varían entre 2142 kg/m^3 y 2297 kg/m^3 dependiendo de su porcentaje de humedad.
- El mortero de pega cuenta con variaciones de densidad en función de su preparación (in situ o preempacado) y de su porcentaje de humedad. Las densidades del mortero preparado in situ varían entre 1990 kg/m^3 y 2290 kg/m^3 y las densidades del mortero preempacado varían entre 1800 kg/m^3 y 2069 kg/m^3 .
- Se encontraron diferencias entre el cálculo de densidades de los materiales de Costa Rica y otros estudios internacionales; sin embargo, en la mayoría de los casos estas son menores que 10%.

- El mortero de repello obtuvo densidades comprendidas entre los 1304 kg/m³ y los 1801 kg/m³.
- La densidad de la mampostería se encuentra distribuida de la siguiente manera: aproximadamente 90% por el concreto de relleno y los bloques de mampostería y alrededor de 10% por el acero de refuerzo y mortero de pega.
- El caso de densidad máxima se obtiene para el menor espaciamiento del refuerzo vertical y horizontal, para todos los tamaños de bloques analizados. Asimismo, las paredes construidas con viga bloque presentan mayor densidad que las paredes construidas donde el acero horizontal no se encuentra totalmente embebido en el concreto.
- El uso de viga bloque genera aumentos de entre 6% y 51% en la densidad de la mampostería.
- Se verificaron los resultados de las densidades de los componentes de la mampostería, dado que se obtuvieron bajos porcentaje de error entre la densidad experimental y teórica de los prismas. Además se comprobó que los resultados teóricos para los muros de mampostería son confiables, pues se obtuvieron bajos porcentajes de error al realizar comparaciones entre estos y paredes reales. Se encontraron diferencias entre los resultados teóricos de Salazar (1) y los valores establecidos por el manual NCMA (13), no obstante estos se derivan de diferencias en las densidades supuestas de los elementos y la estructuración de los muros.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar valores de densidad para los componentes de la mampostería en condición saturada, pues se representa el caso más crítico en el que la densidad es mayor.
- Elegir la densidad de la mampostería según el espaciamiento vertical y horizontal del acero de refuerzo que se vaya a colocar y si se utiliza viga bloque para la colocación del acero horizontal.
- En caso de no utilizar viga bloque, se pueden utilizar los valores de densidad de la Tabla 25, de acuerdo con la configuración de acero utilizada. Estos corresponden a las densidades encontradas por Acuña (2) y Salazar (1), multiplicadas por el ancho del bloque para obtener la densidad en unidades de kg/m².
- En caso de utilizar viga bloque se pueden utilizar los valores de densidad de la Tabla 26, de acuerdo con la configuración de acero utilizada. Estos corresponden a las densidades presentadas por Salazar (1), multiplicadas por el ancho del bloque para obtener la densidad en unidades de kg/m³.
- Tomar en consideración la densidad del mortero de repello; por seguridad se recomienda utilizar el valor máximo de densidad (1801 kg/m³), pues se presentaron diferencias en cuanto a la densidad de las diferentes muestras estudiadas.
- Construir paredes de mampostería con las configuraciones, dimensiones y características estudiadas para verificar los resultados de densidad teóricos.
- Estudiar la densidad en otras configuraciones de paredes utilizando bloques modulares.

Tabla 25. Valores obtenidos de densidad por m² de la pared de mampostería, según tipo de bloque y patrón de refuerzo vertical y horizontal, caso de refuerzo horizontal sin viga bloque.

Bloque 12 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		272	269	268
@40 cm		212	209	209	208
@60 cm		192	189	208	188
@80 cm		182	180	179	178

Bloque 15 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		340	338	337
@40 cm		259	257	256	256
@60 cm		233	230	229	229
@80 cm		219	217	216	215

Bloque 20 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		457	454	454
@40 cm		343	341	340	340
@60 cm		306	303	302	302
@80 cm		287	284	283	283

Bloque Modular (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		313	310	309
@40 cm		245	243	242	241
@60 cm		226	223	223	222
@80 cm		211	209	208	208

Los resultados no incluyen el efecto del mortero de repello.

Fuente: Salazar (1) y Acuña (2)

Tabla 26. Densidad por m² de la pared de mampostería analizada, según tipo de bloque y patrón de refuerzo vertical y horizontal, caso de refuerzo horizontal con viga bloque.

Bloque 12 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		272	269	268
@40 cm		265	236	226	221
@60 cm		263	225	212	206
@80 cm		262	219	205	198

Bloque 15 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		340	338	337
@40 cm		331	293	280	274
@60 cm		328	278	261	253
@80 cm		326	270	251	242

Bloque 20 cm (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		457	454	454
@40 cm		442	390	373	364
@60 cm		437	369	346	335
@80 cm		434	358	333	320

Bloque Modular (Densidad en kg/m ²)					
Vertical	Horizontal	@20 cm	@40 cm	@60 cm	@80 cm
	@20 cm		313	310	309
@40 cm		303	272	261	256
@60 cm		300	261	247	241
@80 cm		298	252	237	229

Los resultados no incluyen el efecto del mortero de repello.

Fuente: Salazar (1)

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Salazar J. Propiedades Geométricas y Densidad de la Mampostería de Concreto [Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil]. San José: Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería; 2013. 161 pp.
2. Acuña D. Efectos del detallado horizontal sobre el comportamiento de muros cortantes de mampostería de concreto [Proyecto de graduación para optar por el grado de Maestría en Ingeniería Civil (borrador)]. San José: Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería; 2014. 112 pp.
3. Acón C. Influencia de la cal nacional en las propiedades del mortero para pega de bloques de mampostería [Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil]. San José: Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería; 2013. 88 pp.
4. Hedstrom E., Hogan M. The properties of masonry grout in concrete masonry. *Masonry: Components to Assemblages*. ASTM STP. 1990 ENE; 1063: 47-62. Inglés.
5. American Standard for Testing Materials (ASTM). C642. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. Pennsylvania: ASTM International; 2006. Inglés.
6. American Standard for Testing Materials (ASTM). C140. Standard test method for sampling and testing concrete masonry units and related units. Pennsylvania: ASTM International.; 2011. Inglés.
7. American Standard for Testing Materials (ASTM). C270-12a. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. Philadelphia: ASTM International; 2012. Inglés.
8. American Standard for Testing Materials (ASTM). C780-06. Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. Philadelphia: ASTM International; 2006. Inglés.
9. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). Código Sísmico de Costa Rica 2010. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica; 2011.
10. American Standard for Testing Materials (ASTM). C90. Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. Pennsylvania: ASTM International; 2014. Inglés.
11. American Standard for Testing Materials (ASTM). C1019. Standard test method for sampling and testing grout. Pennsylvania: ASTM International; 2011. Inglés.
12. American Standard for Testing Materials (ASTM). A615. Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement. Pennsylvania: ASTM International; 2014. Inglés.
13. National Concrete Masonry Association. Concrete Masonry Wall Weights. Estados Unidos, Virginia: NCMA Publications; 2008.