

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS BLOQUES Y LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO

*Alejandro Navas Carro
Julio César Salazar Méndez*

Resumen

En este documento, se analizan las propiedades geométricas del bloque y la mampostería de concreto en el país. Estas propiedades son: dimensiones y espesores de pared del bloque de concreto; también, el área, inercia y módulo de sección transversales netos, además del espesor equivalente de la mampostería de concreto.

La etapa experimental contempló el muestreo de 270 bloques de concreto en 16 de las 20 bloqueras de mayor producción en el país, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del territorio nacional. Estas muestras se utilizaron para el ensayo de área neta en el bloque de concreto, basado en la norma ASTM C140. Con los resultados de este ensayo, se obtuvieron las propiedades geométricas con base en un análisis estadístico de los datos, empleando principalmente los percentiles de la muestra.

Los resultados obtenidos muestran espesores de pared mayores a los mínimos establecidos por la norma INTE, por lo que se recomienda emplear en el diseño, un espesor de pared de 24 mm, 26 mm y 28 mm para los bloques de 12 cm, 15 cm y 20 cm de espesor respectivamente, además de un espesor de pared de 25 mm para el bloque modular.

Palabras clave: bloques de concreto; ensayo de área neta; propiedades geométricas; mampostería de concreto.

Abstract

In this document, the geometrical properties of block and concrete masonry in the country have been analyzed. These properties are: dimensions and wall thickness of concrete masonry units, also the net cross sectional area, inertia and section modulus, in addition to the equivalent thickness of concrete masonry walls.

The experimental phase contemplated 270 concrete masonry units in 16 of the 20 more productive factories in Costa Rica, which are distributed throughout the country. These samples were used for net area test in the concrete masonry units based on ASTM C140. With these results, the geometrical properties of the masonry units were obtained based on a statistical analysis of the data using mainly the percentiles of the sample.

The results show wall thicknesses greater than the minimum specified by the INTE norm, reason why it is recommended to use a wall thickness of 24 mm, 26 mm and 28 mm for masonry units of 12 cm, 15 cm and 20 cm in thickness respectively, and a wall thickness of 25 mm for the modular block.

Keywords: concrete blocks; net area test; geometrical properties; concrete masonry.

Recibido: 20 de mayo de 2014 • **Aprobado:** 8 de julio de 2014

1. INTRODUCCIÓN

El International Building Code [IBC] (2003) señala lo siguiente:

La palabra "mampostería" es un término general que se refiere a la construcción utilizando unidades prefabricadas de arcilla, hormigón, baldosas

de arcilla, bloques de vidrio, piedras naturales y similares. Uno o más tipos de unidades de mampostería se unen entre sí con mortero, piezas de metal, refuerzo y accesorios para formar paredes y otros elementos estructurales. (p. 21-1).

En Costa Rica, se cuenta con diversos tipos de mampostería hueca que principalmente se dividen en bloques modulares y bloques de 12 cm, 15 cm

y 20 cm de espesor. Para efectos de este artículo, se denomina viga bloque al bloque de concreto que permite que el refuerzo horizontal se embeba completamente en concreto. La Figura 1 ilustra bloques convencionales, ranurados y viga bloque.

La mampostería se utiliza con propósitos estructurales y no estructurales; estructurales para la construcción de edificaciones, muros de retención, columnas, vigas, fundaciones, tapias, entre otros; mientras que no estructural para divisiones y usos decorativos. En esta materia, el Código Sísmico de Costa Rica 2010 define en su Apéndice A los requisitos complementarios para mampostería estructural.

En materia legal, las normativas para el control de calidad de los bloques y los requisitos que deben cumplir, han evolucionado a lo largo del tiempo desde que se publicaran las primeras normativas. La primera de ellas se publicó en el primer Código Sísmico de Costa Rica en 1974 y la segunda fue el primer reglamento nacional, publicado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) en 1976.

En la actualidad, el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) es el encargado de la homologación de las normas según la Ley de la Calidad, de manera que el control de calidad de los bloques de concreto se establece en algunas de las normas INTE, las cuales son de uso voluntario. En estas normas, se definen los métodos de ensayo y muestreo, los requisitos de la mampostería hueca para uso estructural y no estructural, la calidad de los agregados, concreto de relleno y mortero de pega de bloques, entre otros requisitos. Las normas INTE se basan en normas internacionales como las ASTM. Cabe destacar que a diferencia de las normas INTE, el CSCR es de acatamiento obligatorio.

Desde la época de los años noventa, se han venido realizando investigaciones de manera intensa con respecto al comportamiento y propiedades mecánicas de bloques y elementos de mampostería; sin embargo, no se han realizado estudios para determinar las dimensiones de estos elementos.

Las propiedades geométricas de la mampostería de concreto son de importancia para la determinación de área neta, densidad y cálculos de capacidad a cortante y flexión, así como la determinación de la rigidez. Por ende, son indispensables para el diseño de estructuras de

mampostería que cumplan con los requerimientos descritos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 y que cuenten con un comportamiento estructural adecuado.

Este es el primer estudio realizado en el país para determinar las propiedades geométricas de los elementos de mampostería. Para ello, se utilizaron muestras de las principales fábricas de bloques a nivel nacional, ubicadas en distintas partes del país. Tiene como objetivos principales informar acerca de la distribución nacional de las empresas fabricantes de mampostería y evaluar las características geométricas de bloques de concreto y mampostería elaborados en Costa Rica, específicamente: dimensiones y espesores de pared de los bloques; área, inercia y módulo de sección transversales netos; y espesor equivalente de la mampostería de concreto. El presente estudio no tiene como propósito la investigación ni divulgación de la calidad de estos elementos.

Los resultados son de importancia pues permiten determinar los rangos de variación de las dimensiones reales de los bloques de mampostería fabricados y compararlos con la normativa vigente, así como determinar las propiedades geométricas reales de la mampostería de concreto. Esto con miras a brindar información esencial para los diseñadores y constructores de sistemas a base de mampostería, pues puede permitir elaborar diseños y obras con un mayor grado de seguridad y eficiencia.

Cabe destacar que este muestreo se realizó entre los meses de octubre del año 2012 y abril del 2013 y por ende, las conclusiones obtenidas a partir de este estudio son válidas únicamente para este espacio de tiempo en específico. Esto debido a que el procedimiento de fabricación de los bloques puede experimentar variaciones en el tiempo.

2. PRODUCTORES DE BLOQUES DE CONCRETO EN COSTA RICA

El mercado de bloques de concreto en Costa Rica ha sufrido diversos cambios en los últimos años. Actualmente existen aproximadamente 20 bloqueras reconocidas, las cuales producen bloques de diversos tamaños, desde los más comunes de 12 cm, 15 cm y 20 cm de espesor, viga bloque y bloque modular, hasta bloques

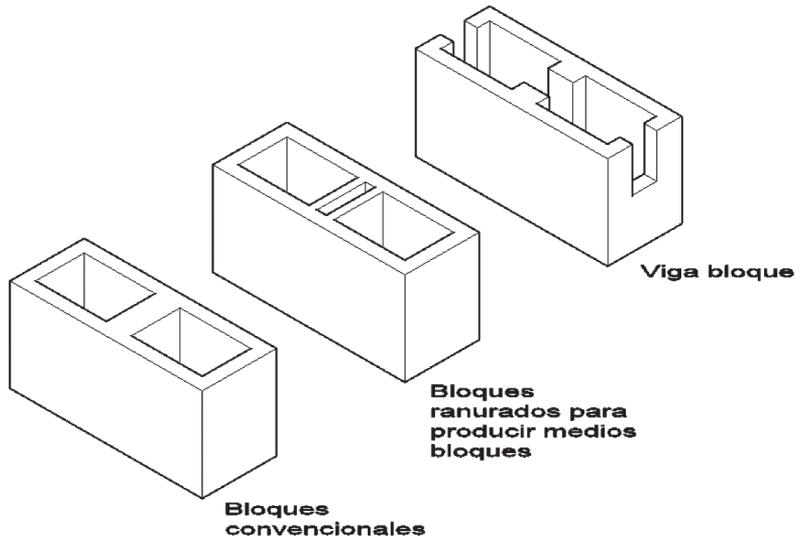


Figura 1. Bloques de concreto más comunes.

Tabla 1. Bloqueras de concreto de mayor producción en Costa Rica.

Nombre	Ubicación de la planta
Quebadores del Sur	Pérez Zeledón
Concreto Industrial	Guápiles
Concreto Industrial	Santa Ana
Pedregal	Belén
Pedregal	Nicoya
Pedregal	Barranca
Pedregal	San Carlos
Productos de Concreto	Guápiles
Productos de Concreto	Ochomogo
Productos de Concreto	San Rafael de Alajuela
Productos de Concreto	Chirripó
Bloquera el Progreso	Alajuela
Concrepal	Palmares
Concrepal	Barranca
Concrepal	Liberia
Concrepal	Parrita
Bloquera Irazú	Coronado
Bloquisa	Desamparados
Bloquera la Pista	Grecia
Concreprefa	Guápiles

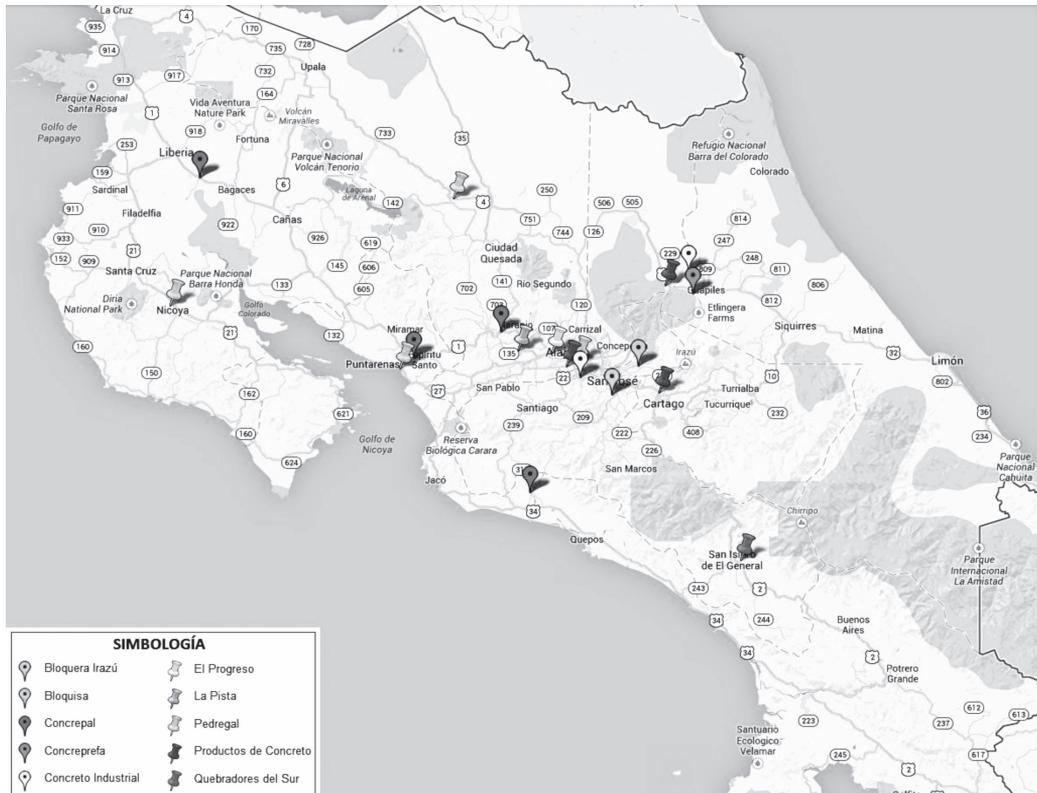


Figura 2. Ubicación de las plantas de las bloqueras de mayor producción en Costa Rica.

Nota: Salazar, J. (2013). Propiedades Geométricas y Densidad de Mampostería de Concreto. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

específicos de algunas empresas como el Masterblock y el Superbloque.

De estas 20 bloqueras, se pueden encontrar 10 empresas reconocidas y diferentes en el mercado nacional, las cuales cuentan con plantas en todas las provincias del país. Una lista detallada de las empresas que fabrican bloques, sus plantas y su ubicación, se presenta en la Tabla 1.

Como se observa en la Tabla 1, la mayoría de las bloqueras se encuentran en las provincias de San José y Alajuela. La zona del Caribe cuenta con muy pocas bloqueras y en la provincia de Limón, específicamente,

las bloqueras más cercanas se encuentran en Guápiles y Chirripó. Asimismo en la zona de Heredia, Cartago, Guanacaste y Puntarenas, se encuentran una, una, dos y tres bloqueras respectivamente.

En la Figura 2, se muestra un mapa con la distribución de las bloqueras de mayor producción en Costa Rica.

Todas las empresas fabrican bloques de 12 cm, 15 cm y 20 cm de ancho; mientras que únicamente 4 empresas fabrican bloques modulares y solo en algunas de sus plantas. En la Tabla 2 se muestra el detalle de los bloques que se fabrican en cada bloquera.

Tabla 2. Bloques fabricados en las plantas de las bloqueras de mayor producción en Costa Rica.

Nombre	Ubicación de la planta	Tamaño de bloque según ancho			
		12 cm	15cm	20cm	Modular
Quebadores del Sur	Pérez Zeledón	√	√	√	x
Concreto Industrial	Guápiles	√	√	√	√
Concreto Industrial	Santa Ana	√	√	√	√
Pedragal	Belén	√	√	√	√
Pedragal	Nicoya	√	√	√	√
Pedragal	Barranca	√	√	√	x
Pedragal	San Carlos	√	√	√	x
Productos de Concreto	Guápiles	√	√	√	√
Productos de Concreto	Ochimogo	√	√	√	x
Productos de Concreto	San Rafael de Alajuela	√	√	√	x
Productos de Concreto	Chirripó	√	√	√	x
Bloquera el Progreso	Alajuela	√	√	√	x
Concrepal	Palmares	√	√	√	x
Concrepal	Barranca	√	√	√	x
Concrepal	Liberia	√	√	√	√
Concrepal	Parrita	√	√	√	x
Bloquera Irazú	Coronado	√	√	√	x
Bloquisa	Desamparados	√	√	√	x
Bloquera la Pista	Grecia	√	√	√	x
Concreprefa	Guápiles	√	√	√	x

√: se fabrica

x: no se fabrica

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Parámetros técnicos y metodología

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

Como se mencionó anteriormente, las normas INTE establecen diversos parámetros para la mampostería de concreto en el país, entre ellos, requisitos geométricos de las unidades de mampostería según el tamaño del bloque, como se muestra en el Tabla 3.

La norma INTE establece que ninguna dimensión (espesor, longitud, altura) podrá diferir por más de 3 mm de las dimensiones especificadas. Para el cálculo del área neta del bloque de concreto, se siguió el procedimiento de la norma INTE 06-02-13: Muestreo y ensayo de unidades de mampostería de concreto (bloques de concreto), la cual se basa en la norma ASTM C140. Por otro lado, el área bruta del bloque de concreto se determinó como el producto del largo por el ancho.

Como el propósito de este estudio es determinar las dimensiones típicas de las unidades de mampostería de concreto que se producen a nivel nacional y no simplemente

Tabla 3. Espesores mínimos de las paredes internas de los bloques.

Ancho nominal del bloque (mm)	Espesor mínimo de las paredes Promedio de tres unidades (mm)
120	19
150	25
200	32 externas y 25 internas

Nota: INTE 06-03-01: Elementos de mampostería hueca de concreto (bloques de concreto) para uso estructural - Requisitos.

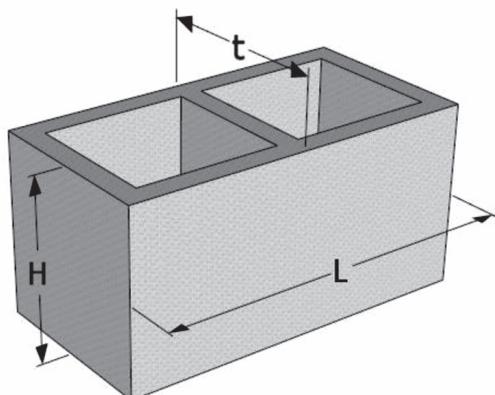


Figura 3. Medición de la altura, espesor y largo del bloque.

una verificación de los mínimos que establece la norma INTE 06-03-01, las mediciones de los bloques se realizaron de la siguiente manera, mediante el uso de vernier:

1. Altura (H): se mide al centro de las 4 caras (4 mediciones), ver Figura 3.
2. Espesor (t): se mide al centro de las caras huecas (2 mediciones), ver Figura 3.
3. Largo (L): se mide al centro de las 2 caras correspondientes (2 mediciones), ver Figura 3.
4. Espesores de pared: se miden según la cantidad de celdas del bloque. Si el bloque cuenta con 1 celda, 2 celdas o 3 celdas, se miden 4, 5 o 6 espesores respectivamente. Además, se miden los espesores en ambas caras de falla o caras huecas del bloque, ver Figura 4.

Con respecto a los espesores de pared de los bloques (t_p), se debe destacar que por su proceso de fabricación, el bloque es más angosto en una de sus caras de falla, o caras huecas, para que el molde sea fácil de retirar una vez que se da la consolidación, lo cual genera que los espesores de pared en una cara del bloque sean mayores que los espesores de pared en la cara opuesta. Aunque la norma indica que las mediciones se deben tomar en la cara de menor espesor, para este estudio se midieron los espesores de pared en ambas caras de falla del bloque, ver Figura 5.

3.2. Características de la muestra

La muestra utilizada para determinar las propiedades geométricas fue de 270 bloques de concreto provenientes de las 16 bloqueras incluidas en el estudio, de manera que se muestrearon 5 bloques de cada tipo en cada una de las bloqueras, los cuales se distribuyen de la siguiente manera.

- 80 bloques de 12 cm de espesor
- 5 bloques modulares de 15 cm de longitud nominal
- 75 bloques de 15 cm de espesor
- 15 bloques modulares de 30 cm de longitud nominal
- 80 bloques de 20 cm de espesor
- 15 bloques modulares de 45 cm de longitud nominal

La norma ASTM C140 indica que se deben utilizar tres muestras de cada tipo de bloque para cada bloquera; sin embargo, se decidió utilizar un número superior de muestras con el fin de obtener resultados más representativos. En el caso del bloque modular, todos los bloques muestreados son similares en cuanto a dimensiones, al bloque modular conocido como Tecnoblock, el cual fue desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); de manera que en este artículo, todos los resultados obtenidos para los bloques

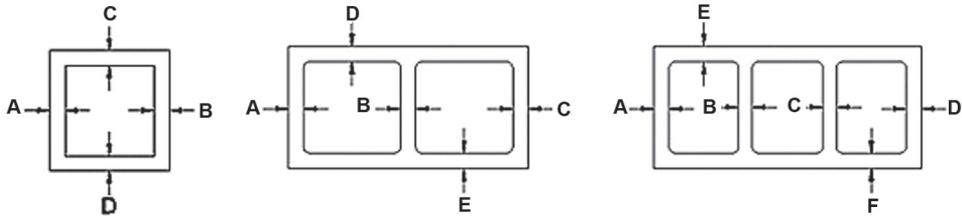


Figura 4. Medición de los espesores de pared de los bloques de 1, 2 y 3 celdas.

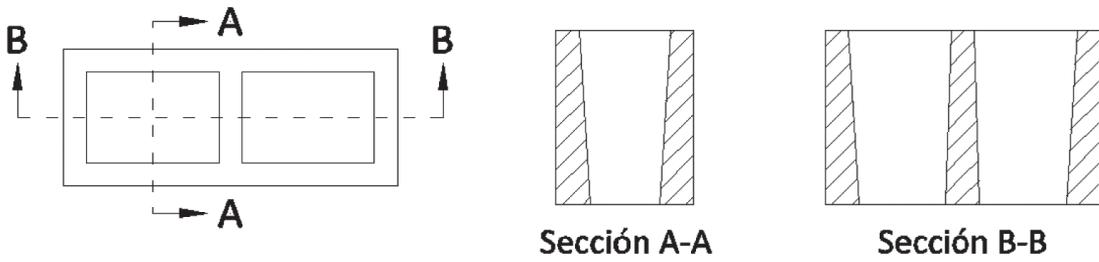


Figura 5. Sección transversal de un bloque de concreto.

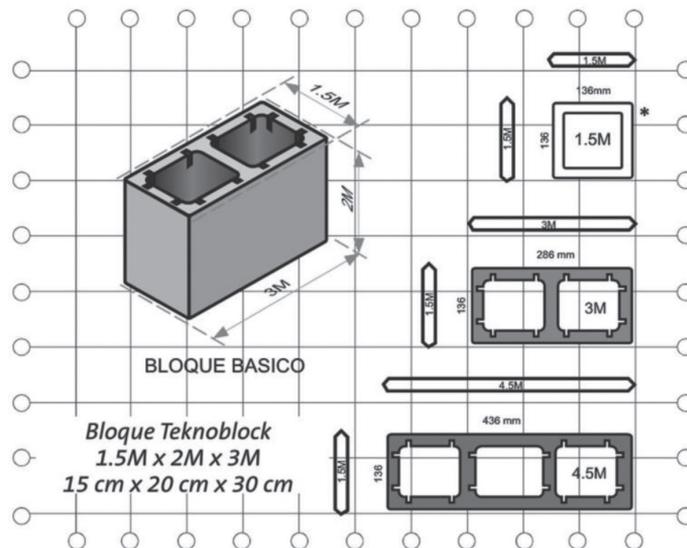


Figura 6. Bloques modulares tipo "Teknoblock".
 Nota: "Manual Técnico PC - Bloques de mampostería"
 por Productos de Concreto S.A, 2013.

Tabla 4. Dimensiones reales promedio de los bloques estándar, según bloquera.

	Bloque 12 cm			Bloque 15 cm			Bloque 20 cm		
	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Bloquera I	12.1	19.2	39.0	15.0	19.2	39.0	20.0	18.9	38.9
Bloquera II	12.0	18.9	38.9	-	-	-	20.0	19.1	39.0
Bloquera III	12.1	19.3	39.1	15.0	19.0	39.0	20.1	18.9	39.0
Bloquera IV	12.0	19.1	39.0	15.0	19.0	39.0	20.0	18.9	39.2
Bloquera V	12.0	19.0	39.0	15.0	19.0	39.0	20.1	19.1	39.1
Bloquera VI	12.0	19.0	39.3	15.0	18.8	39.1	20.0	18.7	39.0
Bloquera VII	12.0	19.1	39.0	15.0	19.0	38.9	20.0	19.0	39.0
Bloquera VIII	12.0	19.0	39.1	15.0	19.0	39.1	20.0	19.1	39.0
Bloquera IX	12.0	18.9	39.0	15.0	19.0	38.9	20.0	19.0	39.0
Bloquera X	12.0	18.9	38.8	15.0	19.2	38.9	20.0	19.1	38.8
Bloquera XI	12.0	19.0	38.9	15.0	19.1	38.9	20.0	19.1	38.9
Bloquera XII	12.0	19.1	38.9	15.0	18.9	38.9	20.1	18.8	39.0
Bloquera XIII	12.0	18.9	38.9	15.0	18.9	39.0	20.0	19.0	38.8
Bloquera XIV	12.0	19.0	39.1	15.0	19.0	39.0	20.0	19.0	39.0
Bloquera XV	12.0	18.9	38.9	15.0	19.0	39.1	20.0	19.0	38.9
Bloquera XVI	12.0	18.8	39.0	15.1	18.9	39.2	20.1	18.9	39.1

Tabla 5. Dimensiones reales promedio de los bloques modulares, según bloquera.

	Modular 15 cm			Modular 30 cm			Modular 45 cm		
	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Bloquera I	13.7	19.0	13.7	13.5	19.2	28.5	13.5	19.5	43.5
Bloquera II	-	-	-	13.6	18.4	28.6	13.6	18.5	43.6
Bloquera III	-	-	-	-	-	-	13.5	19.8	43.7
Bloquera IV	-	-	-	13.6	19.1	28.5	-	-	-

Tabla 6. Dimensiones reales promedio de los bloques modulares, según bloquera.

	Bloque 12 cm			Bloque 15 cm			Bloque 20 cm		
	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
\bar{x} (cm)	12.0	19.0	39.0	15.0	19.0	39.0	20.0	19.0	39.0
s (cm)	0.03	0.13	0.12	0.02	0.13	0.08	0.03	0.12	0.09

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de las dimensiones reales de los bloques modulares, según longitud.

	Modular 15 cm			Modular 30 cm			Modular 45 cm		
	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
\bar{x} (cm)	13.7	19.0	13.7	13.6	18.9	28.5	13.5	19.2	43.6
s (cm)	-	-	-	0.04	0.42	0.08	0.05	0.65	0.09

modulares se refieren al Tecnoblock del ITCR, el cual se muestra en la Figura 6.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Dimensiones reales del bloque de concreto

En la Tabla 4 y 5, se presentan los resultados de dimensiones promedio obtenidas en cada uno de los bloques muestreados en las bloqueras estudiadas, tanto de los bloques estándar como de los bloques modulares.

Al analizar la totalidad de la muestra, es decir, todas las dimensiones realizadas en cada uno de los bloques de cada tipo y de cada bloquera, se obtienen los resultados estadísticos (Ver Tablas 6 y 7)

Con los resultados anteriores, se comprueba que las dimensiones promedio de los bloques son

de 12 x 19 x 39 cm, 15 x 19 x 39 cm y 20 x 19 x 39 cm, en el caso del bloque estándar de 12 cm, 15 cm y 20 cm de espesor respectivamente; mientras que en el caso del bloque modular se tiene 13.7 x 19 x 13.7 cm, 13.6 x 18.9 x 28.5 cm y 13.5 x 19.2 x 43.6 cm para los bloques de 15 cm, 30 cm y 45 cm de longitud nominal respectivamente.

4.2. Espesores de pared del bloque de concreto

En la Tabla 8, se presentan los resultados de los espesores de pared promedio obtenidos en cada uno de los bloques muestreados en las bloqueras estudiadas, tanto de los bloques estándar como de los bloques modulares. En este artículo, únicamente se presentan los resultados de los espesores de pared mínimos medidos, denominados como A, B, C, D, E y F.

Como ejemplo, en el caso del bloque de concreto de dos celdas de 20 cm de espesor, el espesor de pared interno se refiere a los valores A,

Tabla 8. Espesor de pared menor promedio de los bloques de concreto estándar, según bloquera

	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm (int)	Bloque 20 cm (ext)
	mm			
Bloquera I	27.4	27.5	31.3	33.2
Bloquera II	25.1	-	31.1	33.1
Bloquera III	27.7	27.0	30.3	33.4
Bloquera IV	25.8	26.9	31.7	33.7
Bloquera V	25.8	28.1	32.1	34.7
Bloquera VI	26.8	28.1	29.2	28.4
Bloquera VII	26.0	26.9	31.6	33.7
Bloquera VIII	27.5	26.9	27.5	27.9
Bloquera IX	24.5	28.3	31.2	32.6
Bloquera X	27.2	27.1	31.0	32.9
Bloquera XI	24.8	27.1	30.3	33.5
Bloquera XII	27.3	27.2	28.2	34.1
Bloquera XIII	26.8	27.3	30.2	33.2
Bloquera XIV	25.8	26.5	31.2	33.9
Bloquera XV	25.6	27.2	32.5	35.1
Bloquera XVI	27.7	31.2	29.2	33.2

Tabla 9. Espesor de pared menor promedio de los bloques de concreto modulares, según bloquera.

	Modular 15 cm	Modular 30 cm	Modular 45 cm
	mm		
Bloquera IV	26.1	26.1	26.2
Bloquera IX	-	26.4	26.8
Bloquera X	-	-	26.7
Bloquera XV	-	25.6	-

Tabla 10. Resultados estadísticos de los espesores de pared menores de los bloques de concreto.

	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm (int)	Bloque 20 cm (ext)	Modular 15 cm	Modular 30 cm	Modular 45 cm
\bar{x} (mm)	26.4	27.5	30.5	32.9	26.1	26.0	26.6
s (mm)	1.06	1.18	1.43	1.94	-	0.38	0.36
Mín. (mm)	24.1	24.5	27.3	27.6	26.0	25.3	26.0
P5 (mm)	24.6	26.7	27.6	28.1	26.0	25.4	26.1

Tabla 11. Espesor de pared recomendado para los bloques de concreto estándar y modular.

	Bloque 12 cm	Bloque 15 cm	Bloque 20 cm (int)	Bloque 20 cm (ext)	Modular
tf – Norma INTE (mm)	19	25	25	32	22.2
tf - Recomendado (mm)	24	26	28	2	25
% Aumento	26%	4%	12%	0%	13%

B y C, mientras que el espesor externo se refiere a los valores D y E mostrados en la Figura 4.

Al analizar la totalidad de la muestra, es decir, todas las dimensiones realizadas en cada uno de los bloques de cada tipo y de cada bloquera, se obtienen los siguientes resultados estadísticos.

El percentil 5 (P5) calculado para cada espesor de pared de cada tipo de bloque, se utilizó con el fin de recomendar un espesor de pared mínimo para emplear en el diseño de la mampostería de cada tipo de bloque.

Los espesores de pared mínimos encontrados superan los espesores de pared mínimos establecidos por la norma INTE 06-03-01 (Tabla 3), con la excepción de 2 bloqueras que incumplen el espesor mínimo de pared externo del bloque de 20 cm, según se aprecia en el Tabla

8. Además, se encontraron diferencias de entre 4 mm y 7 mm entre el espesor de pared menor y mayor del bloque de concreto.

En el Tabla 11 se aprecia el considerable aumento en el espesor de pared del bloque de concreto, especialmente en el bloque de 12 cm de espesor. En el caso del bloque de 20 cm, dado que 2 bloqueras no cumplieron con el mínimo establecido, se recomienda el mismo valor establecido por la norma INTE 06-03-01 de 32 mm para el espesor de pared externo.

Cabe destacar que en el caso del bloque de 12 cm, 15 cm y modular, el aumento del espesor de pared significa un aumento de un 54%, 8% y 26%, respectivamente, en la capacidad en cortante de un muro de mampostería parcialmente relleno con cargas paralelas a su plano, según la ecuación

[9-24] del CSCR10, la cual se basa en la ecuación [3-22] del TMS 402-08. En el caso del bloque de 20 cm de espesor, no se da este aumento en la capacidad debido a que el espesor de pared externo se mantiene igual al mínimo de la norma.

4.3. Propiedades geométricas de la mampostería de concreto

El ensayo de área neta incluyó un total de 162 bloques de concreto de los 270 muestreados para la medición de propiedades geométricas, de manera que se muestrearon 3 bloques de cada tipo en cada una de las bloqueras. Se utilizó este número de muestras pues se siguieron las indicaciones de la norma ASTM C140.

Las principales propiedades geométricas analizadas fueron:

- Área neta
- Espesor equivalente
- Inercia transversal neta
- Módulo de sección transversal neto

Según Armhein (1998), el espesor equivalente de la mampostería se define como el espesor que tendría el muro de mampostería si no existieran celdas vacías. Este valor depende del patrón de refuerzo vertical y del espesor del bloque de concreto.

Además, para calcular las propiedades geométricas, se emplearon los siguientes supuestos.

- Espesores de pared recomendados (Tabla 11)
- Sección de mampostería (Figura 7)
- Promedio de celdas vacías por metro (Figura 8)
- Análisis estadístico
- Percentil 5

En el caso del bloque modular, se analizaron 3 posibles configuraciones para construir una pared de 103.6 cm de longitud. Estas configuraciones se muestran en la Figura 9.

Para el cálculo del área neta de la mampostería, se utilizó el promedio de celdas vacías por metro según el patrón de refuerzo vertical y el promedio del área neta del bloque

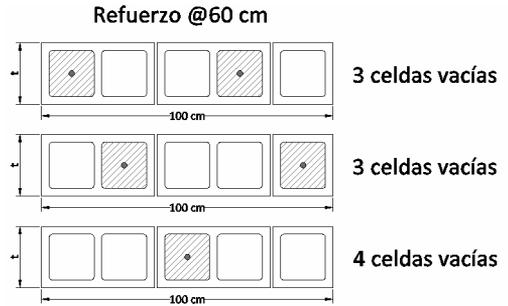


Figura 7. Cantidad de celdas vacías por metro de pared con el refuerzo a cada 60 cm.

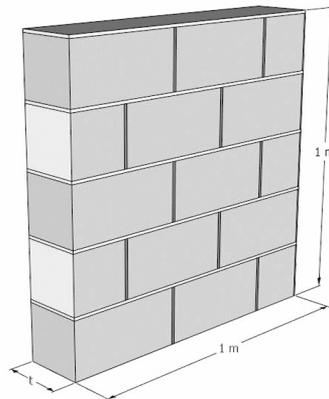


Figura 8. Pared de bloque de concreto de 1 m² utilizada para el cálculo del espesor equivalente del bloque estándar.

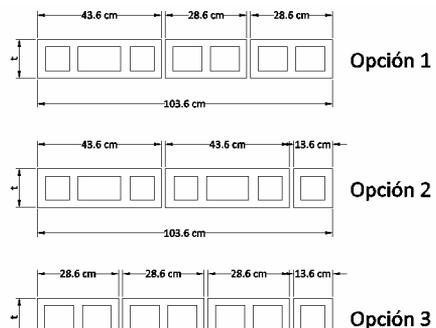


Figura 9. Opciones constructivas analizadas para una pared con bloque modular.

de concreto; con este valor y el volumen de la pared, se obtuvo el espesor equivalente de la mampostería. La inercia y módulo de sección transversal neta de la mampostería, en el eje débil, se obtuvieron al analizar una sección equivalente de mampostería con una única celda vacía, tomando en consideración su patrón de refuerzo vertical (Figura 10).

A continuación, se muestran las propiedades geométricas obtenidas para la mampostería con los diferentes tipos de bloque analizado.

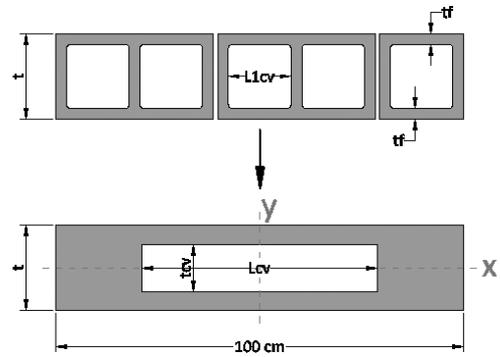


Figura 10. Sección equivalente de mampostería utilizada para el cálculo de las propiedades geométricas.

Tabla 12. Propiedades geométricas de la mampostería con bloque estándar de 12 cm de espesor.

Separación del refuerzo vertical (cm)	An (cm ² /m)	In, x-x (cm ⁴ /m)	Sn, x-x (cm ³ /m)	tfe (cm)
20	1200	14400	2400	12
40	928	13266	2211	9.3
60	837	12888	2148	8.4
80	792	12699	2116	7.9

Tabla 13. Propiedades geométricas de la mampostería con bloque estándar de 15 cm de espesor.

Separación del refuerzo vertical (cm)	An (cm ² /m)	In, x-x (cm ⁴ /m)	Sn, x-x (cm ³ /m)	tfe (cm)
20	1500	28125	3750	15
40	1142	25333	3378	11.4
60	1022	24402	3254	10.2
80	962	23937	3192	9.6

Tabla 14. Propiedades geométricas de la mampostería con bloque estándar de 20 cm de espesor.

Separación del refuerzo vertical (cm)	An (cm ² /m)	In, x-x (cm ⁴ /m)	Sn, x-x (cm ³ /m)	tfe (cm)
20	2000	66667	6667	20
40	1483	58691	5869	14.8
60	1310	56032	5603	13.1
80	1224	54703	5470	12.2

Tabla 15. Propiedades geométricas de la mampostería con bloque modular (1).

Separación del refuerzo vertical (cm)	An (cm ² /m)	In, x-x (cm ⁴ /m)	Sn, x-x (cm ³ /m)	tfe (cm)
20	1409	21717	3194	13.6
40	1102	19858	2920	10.7
60	1014	19327	2842	9.8
80	948	18929	2784	9.2

Nota: (1) El bloque modular se refiere al Tecknoblock desarrollado por el ITCR, ver Figura 6.

Para el cálculo de las propiedades geométricas, se emplearon los valores de percentil 5 del espesor de pared menor y área neta, y no los valores mínimos establecidos por la norma INTE. Por lo tanto, se generó un espesor y longitud de la celda vacía equivalente menor y por ende, mayor inercia, módulo de sección y propiedades geométricas en general, en todas las secciones analizadas con los diferentes tipos de bloque.

En el caso del bloque modular, se observó que las 3 opciones analizadas presentan resultados bastante similares entre ellos en todas las propiedades geométricas, de manera que se presentan los resultados más conservadores en la Tabla 15 y que corresponden a la opción 1, la cual se compone de los bloques con mayor área de una celda vacía, tanto individualmente como en la sección en general. En general, las propiedades geométricas de la mampostería disminuyen conforme se aumenta la separación del refuerzo vertical en todos los tipos de bloques, debido al aumento del promedio de celdas vacías por metro, por lo que se obtiene una pared equivalente con una sección hueca mayor.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Bloques de concreto en Costa Rica

1. El 35% de las bloqueras de mayor producción en Costa Rica se encuentran distribuidas entre las provincias de Alajuela y San José, mientras que el 45% se encuentran distribuidas en la Gran Área Metropolitana.
2. El cantón de Limón no cuenta con ninguna bloquera, mientras que el Pacífico Sur únicamente cuenta con una de las bloqueras de mayor producción en el país.
3. Todas las bloqueras de mayor producción fabrican bloque estándar de 12 cm, 15 cm y 20 cm de espesor; mientras que únicamente 4 bloqueras fabrican bloque modular.
4. El 80% de las bloqueras utiliza material de río como agregado para fabricar los bloques de concreto, mientras que el restante 20% utiliza material de tajo.

5.2 Propiedades geométricas del bloque y la mampostería de concreto

5. Las dimensiones promedio de los bloques de concreto estándar son de 12x19x39 cm, 15x19x39 cm y 20x19x39 cm.
6. Las dimensiones promedio de los bloques de concreto modular son de 13.7x19x13.7 cm, 13.6x18.9x28.5 cm y 13.5x19.2x43.6 cm.
7. El percentil 5 del espesor de pared de todos los bloques de concreto estudiados, excepto el espesor de pared externo del bloque estándar de 20 cm de espesor, es superior al mínimo establecido por la norma INTE 06-03-01 para cada tipo de bloque.
8. El 12% de las bloqueras estudiadas incumplen el espesor de pared externo para el bloque estándar de 20 cm de espesor.
9. La relación promedio entre el área neta y el área bruta de los bloques de concreto es menor de 0.75 en todos los tipos de bloque analizados, por lo que clasifican como mampostería hueca según la ASTM C90.
10. La inercia y módulo de sección transversales netos de la mampostería son mayores a lo esperado, esto como resultado del mayor espesor de pared encontrado en todos los bloques de concreto, con respecto al espesor de pared mínimo establecido por la norma INTE 06-03-01.
11. Los resultados más conservadores de la mampostería modular se obtuvieron al considerar una sección de pared con bloques de 30 cm y 45 cm de longitud nominal.
12. Se recomienda que este tipo de estudios se lleven a cabo en el tiempo, dado que las condiciones de producción pueden variar, por ejemplo a causa del implemento de moldes nuevos, su ajuste, reparación y desgaste, o por la introducción de nuevos procedimientos de fabricación. Sin embargo, se considera que estas variaciones no ocurren de manera frecuente.

6. SIMBOLOGÍA

- \bar{x} Promedio de la muestra, según la variable en análisis

A_n Área transversal neta del bloque de concreto	Modular 15 cm Bloque de concreto modular de 15 cm de longitud nominal
ASTM <i>American Society for Testing and Materials</i>	Modular 30 cm Bloque de concreto modular de 30 cm de longitud nominal
Bloque 12 cm Bloque de concreto estándar de 12 cm de espesor	Modular 45 cm Bloque de concreto modular de 45 cm de longitud nominal
Bloque 15 cm Bloque de concreto estándar de 15 cm de espesor	NCMA <i>National Concrete Masonry Association</i>
Bloque 20 cm (ext) Bloque de concreto estándar de 20 cm de espesor, espesor de pared externo	P_5 Percentil 5 de la muestra, según la variable en análisis
Bloque 20 cm (int) Bloque de concreto estándar de 20 cm de espesor, espesor de pared interno	s Desviación estándar de la muestra, según la variable en análisis
Bloque 20 cm Bloque de concreto estándar de 20 cm de espesor	$S_{n,x-x}$ Módulo de sección transversal neto del bloque de concreto en el eje "x" (eje débil)
CSCR Código Sísmico de Costa Rica	t Espesor del bloque de concreto
CSCR10 Código Sísmico de Costa Rica 2010	t_{cv} Espesor de la celda vacía equivalente
H Altura del bloque de concreto	Tecknoblock Bloques de concreto modulares desarrollados como parte de un estudio del ITCR y considerados como bloques modulares en este trabajo
IBC <i>International Building Code</i>	t_f Espesor de pared del bloque de concreto
$I_{n,x-x}$ Inercia transversal neta del bloque de concreto en el eje "x" (eje débil)	t_{fe} Espesor de pared equivalente de la mampostería
INTECO Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica	TMS 402-08 <i>Building code requirements and specifications for masonry structures 2008</i>
ITCR Instituto Tecnológico de Costa Rica	Viga bloque Bloque de concreto con una ranura, la cual se utiliza para colocar el refuerzo horizontal y que el mismo quede completamente embebido en concreto.
L Longitud del bloque de concreto	
L_{1cv} Longitud de 1 celda vacía del bloque de concreto	
Lanamme UCR Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	
L_{cv} Longitud de la celda vacía equivalente	
MEIC Ministerio de Economía, Industria y Comercio	

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Standard for Testing Materials (ASTM). (2011). *C140: Standard test method for sampling and testing concrete masonry units and related units*. Pennsylvania: ASTM International.

- American Standard for Testing Materials (ASTM). (2011). *C90: Standard specification for loadbearing concrete masonry units*. Pennsylvania: ASTM International.
- Armhein, J. E. (1998). *Reinforced Masonry Engineering Handbook, clay and concrete masonry (5a ed)*. Florida: Masonry Institute of America.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2007). *INTE 06-02-13: Muestreo y ensayo de unidades de mampostería de concreto (bloques de concreto)*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2007). *INTE 06-03-01: Elementos de mampostería hueca de concreto (bloques de concreto) para uso estructural - Requisitos*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- International Code Council. (2003). *International Building Code Commentary*. Washington: International Code Council.
- Masonry Standards Joint Committee (MSJC). (2008). *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Virginia: The Masonry Society.
- National Concrete Masonry Association (NCMA). (2007). *TEK Manual 14-1B: Section properties of concrete masonry walls*. Virginia: NCMA.
- National Concrete Masonry Association (NCMA). (2012). *TEK Manual 18-2b: Sampling and testing concrete masonry units*. Virginia: NCMA.
- Productos de Concreto S.A. (2013) Manual Técnico PC - Bloques de mampostería. Recuperado de http://pc.cr/catalogo/catalogo_mamposteria/files/assets/basic-html/page6.html

SOBRE LOS AUTORES

Alejandro Navas Carro: Universidad de Costa Rica. Magister en Ingeniería Civil. Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil; Director del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. ALEJANDRO.NAVAS@ucr.ac.cr

Julio César Salazar Méndez: Empresa Constructora Proycon, Asistente de Ingeniero de Proyecto; Licenciado en Ingeniería Civil Universidad de Costa Rica. juliocesarc@gmail.com