

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA A PARTIR  
DE VARIACIONES DE RESISTENCIA DEL BLOQUE, RESISTENCIA DE MORTERO Y PATRÓN DE  
RELLENO EN COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado  
en Ingeniería Civil para optar al grado y título de Maestría Académica en Ingeniería Civil

ANDREA RAMÍREZ VILLALBA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2024

## **DEDICATORIA**

A quienes han tenido un enorme significado en mi vida durante el desarrollo de este proyecto, me han sostenido, me han hecho crecer y viven en mi corazón, Nico, Walter, Haydeé, Élida, Pablo y Emma.

## **AGRADECIMIENTO**

Al comité asesor, quienes confiaron en mí el desarrollo de este proyecto y han sido guía, apoyo y ejemplo a lo largo de mi carrera profesional y del desarrollo de esta investigación, el director Alejandro Navas Carro y los asesores Guillermo González Beltrán y Álvaro Poveda Vargas.

A los compañeros del Laboratorio de Estructuras Dennis Madrigal, Diego Guzmán y Francisco Villalobos, del Laboratorio de Concretos Avisai Álvarez, Christian Ramírez, María Fernanda Orozco, además de Daniel Zamora y Óscar Valerio, por apoyo, colaboración y compromiso con los ensayos requeridos para esta investigación.

A los patrocinadores, quienes con su donación de materiales hicieron posible esta investigación. A Productos de Concreto por los diseños de mezcla y fabricación de bloques con resistencias y dimensiones específicas para esta investigación. Y a Intaco, en especial a Osvaldo Ramírez, por su gestión para disponer de morteros para mampostería y concretos de relleno preempacados necesarios para la construcción de los especímenes de este proyecto.

A mis hermanos Luis Diego, Julio, Rodolfo y Alfredo, que me brindaron inspiración para poder desarrollar este proyecto.

A mis familiares y amigos, que con su paciencia, apoyo y espacio pude concluir esta investigación.

A Dios por la vida y las bendiciones que en ella me ha dado.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ingeniería Civil.

---

Ph.D. Tania Rodríguez Echavarría  
**Representante de la Decana  
Sistema de Estudios de Posgrado**

---

M.Sc. Alejandro Navas Carro  
**Director de Tesis**

---

Ph.D. Guillermo González Beltrán  
**Asesor**

---

M.Sc. Álvaro Poveda Vargas  
**Asesor**

---

Ph.D. Diego Hidalgo Leiva  
**Director  
Programa de Posgrado en Ingeniería Civil**

---

Ing. Andrea Ramírez Villalba  
**Candidata**

## RESUMEN EN ESPAÑOL

El Código Sísmico de Costa Rica 2014 define la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  de manera proporcional a la resistencia a la compresión del del bloque  $f'_b$ , del mortero  $f'_{mor}$  y del concreto de relleno  $f'_g$ . Sin embargo, desde hace más de 20 años han realizado investigaciones a nivel internacional que demuestran que no se trata de una relación directamente proporcional en todos los casos y se han generado correlaciones entre la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  y la de los materiales que la componen.

Para esta investigación se ensayaron a compresión 117 prismas de mampostería, clasificados en 36 grupos, cada grupo corresponde a una combinación dada de variables de los componentes. Se contemplaron 3 resistencias esperadas de  $f'_b$ , morteros tipo S y tipo N, 2 resistencias esperadas de  $f'_g$  y 3 anchos de bloque, de 20 cm, 15 cm y 12 cm. De forma paralela se midió la resistencia de los bloques, morteros y concretos de rellenos utilizados en la construcción de los prismas, todos los ensayos se realizaron de acuerdo con las normas ASTM e INTE correspondientes.

Del análisis realizado se generaron dos correlaciones para la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  análogas a las planteadas en la tabla 2 de la especificación TMS 402/602. La primera relaciona la resistencia  $f'_m$  y la resistencia  $f'_b$  haciendo distinción según el uso de morteros tipo S y tipo N. La segunda correlación no hace distinción por tipo de mortero.

A su vez, se realizó un análisis de la variación de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  respecto a cada variable en estudio. Estas variaciones se analizaron también estadísticamente. Se generaron gráficos y tendencias para cada correlación que se pudieron contrastar con investigaciones realizadas a nivel internacional.

## ABSTRACT

The 2014 Costa Rica Seismic Code defines the compressive strength of masonry  $f'_m$  proportionally to the compressive strength of the block  $f'_b$ , the mortar  $f'_{mor}$  and the grout  $f'_g$ . However, for more than 20 years, international research has been carried out that shows that this relationship is not directly proportional in all cases, and correlations have been generated between the compressive strength of masonry  $f'_m$  and that of the materials that compose it.

For this investigation, compression tests were done for 117 masonry prisms, classified into 36 groups, each group corresponding to a given combination of component variables. 3 expected resistances of  $f'_b$ , type S and type N mortars, 2 expected resistances of  $f'_g$  and 3 block widths: 20 cm, 15 cm, and 12 cm, were considered. In parallel, the resistance of the blocks, mortars and grouts used in the construction of the prisms were measured; all tests were carried out in accordance with the corresponding ASTM and INTE standards.

From the analysis that was carried out, two correlations were generated for the compressive strength of the masonry  $f'_m$ , analogous to those presented in Table 2 of the TMS 402/602 specification. The first one relates the resistance  $f'_m$  and the resistance  $f'_b$  making a distinction according to the use of type S and type N mortars. The second correlation does not make a distinction by type of mortar.

Additionally, an analysis of the variation of the masonry resistance  $f'_m$  with respect to each variable under study was carried out. These variations were also analyzed statistically. Graphs and trends were generated for each correlation which were contrasted with research carried out internationally.

## TABLA DE CONTENIDO

---

<b>DEDICATORIA</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>III</b>
<b>HOJA APROBACIÓN</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN EN ESPAÑOL</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VI</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>XVI</b>
<b>PARTE I</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN	2
1.2. IMPORTANCIA	3
1.3. OBJETIVO GENERAL	4
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. ALCANCE	4
1.6. METODOLOGÍA	5
<b>PARTE II</b>	<b>7</b>
<b>2. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA</b>	<b>8</b>
2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA	8
2.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO	8
2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA	9
2.3.1. RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA	9
2.3.2. RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO	10
2.3.3. RESISTENCIA DEL MORTERO	11
2.3.4. GEOMETRÍA DE LA UNIDAD Y ÁREA DE MORTERO EN LA JUNTA HORIZONTAL	11
2.3.5. ALTURA DEL PRISMA	11
2.3.6. PLACAS DE APOYO	12
2.3.7. PATRÓN DE COLOCACIÓN DEL MORTERO EN LOS PRISMAS	12
2.3.8. ESPESOR DE JUNTA DE MORTERO	12
2.3.9. ÁREA DEL MORTERO	13
2.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN EL TIPO DE PRISMA	13
2.4.1. PRISMAS DE MAMPOSTERÍA HUECOS CON MORTERO EN TODA LA JUNTA HORIZONTAL	13
2.4.2. PRISMAS DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO DE RELLENO Y MORTERO EN TODA LA JUNTA HORIZONTAL	14

<b>3.</b>	<b><u>METODOLOGÍAS DE ENSAYO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</u></b>	<b>15</b>
3.1.	PRISMAS DE MAMPOSTERÍA	15
3.2.	UNIDADES DE MAMPOSTERÍA	16
3.3.	CONCRETO DE RELLENO	16
3.4.	MORTERO	16
<b>4.</b>	<b><u>NORMATIVA NACIONAL E INTERNACIONAL</u></b>	<b>17</b>
4.1.	CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010-14	17
4.1.1.	MAMPOSTERÍA CLASE A	17
4.1.2.	MAMPOSTERÍA CLASE B	18
4.1.3.	MAMPOSTERÍA CLASE C	18
4.2.	CÓDIGO ESTADOUNIDENSE TMS 602/402	19
4.2.1.	MÉTODO DE ENSAYO DE PRISMAS	19
4.2.2.	MÉTODO DE RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA	20
4.2.3.	VERSIONES ANTERIORES DE LA TABLA 2 DE LA ESPECIFICACIÓN TMS	23
4.3.	CÓDIGO NEOZELANDÉS NZS 4230-2004	25
<b>5.</b>	<b><u>ANTECEDENTES EXPERIMENTALES (ESTADO DEL ARTE)</u></b>	<b>26</b>
5.1.	INVESTIGACIONES EN COSTA RICA	26
5.1.1.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO	26
5.1.2.	RESISTENCIA DE BLOQUES Y PRISMAS DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO EN COSTA RICA	27
5.2.	INVESTIGACIONES INTERNACIONALES	29
5.2.1.	RECALIBRACIÓN DEL MÉTODO DE RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECIFICADA DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO – VIRGINIA, ESTADOS UNIDOS	29
5.2.2.	PROPUESTA PARA LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECIFICADA DE LA MAMPOSTERÍA – KNOXVILLE ESTADOS UNIDOS	32
5.2.3.	COMPORTAMIENTO A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE CONCRETOS DE MAMPOSTERÍA – PHILADELPHIA ESTADOS UNIDOS	33
<b>PARTE III</b>		<b>34</b>
<b>6.</b>	<b><u>ESTUDIO EXPERIMENTAL</u></b>	<b>35</b>
6.1.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	35
6.1.1.	TAMAÑO DE MUESTRA	35
6.1.2.	UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.	35
6.1.3.	MORTERO	36
6.1.4.	CONCRETO DE RELLENO	37
6.1.5.	PRISMAS	38
6.1.6.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS	40
6.2.	TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES	41

<b>6.3.</b>	<b>DIAGRAMA DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL</b>	<b>42</b>
<b>6.4.</b>	<b>PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL</b>	<b>43</b>
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES</b>	<b>44</b>
<b>7.1.</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA</b>	<b>46</b>
7.1.1.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'b$ SEGÚN EL TIPO DE MORTERO Y COMPARACIÓN CON EL TMS	46
<b>7.2.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL MORTERO</b>	<b>52</b>
7.2.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	52
7.2.1.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'mor\ esperada$	55
7.2.2.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'mor\ experimental$	57
<b>7.3.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL CONCRETO DE RELLENO</b>	<b>60</b>
7.3.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE RELLENO	60
7.3.2.	ANÁLISIS DE $f'm$ SEGÚN EL PATRÓN DE RELLENO	63
7.3.3.	ANÁLISIS DE $f'm$ EN PRISMAS HUECOS	67
7.3.4.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'g$ EN PRISMAS RELLENOS	70
<b>7.4.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD</b>	<b>73</b>
7.4.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE	73
7.4.2.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'b\ esperada$	76
7.4.3.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'b\ experimental$	78
<b>7.5.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD</b>	<b>81</b>
7.5.1.	ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE	81
7.5.2.	ANÁLISIS DE $f'b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE	84
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
<b>8.1.</b>	<b><math>f'm</math> VERSUS <math>f'b</math> SEGÚN TIPO DE MORTERO Y COMPARACIÓN EL TMS</b>	<b>87</b>
<b>8.2.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EL FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MORTERO</b>	<b>88</b>
<b>8.3.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DEL PATRÓN DE RELLENO Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO</b>	<b>89</b>
<b>8.4.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD</b>	<b>89</b>
<b>8.5.</b>	<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD</b>	<b>89</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>90</b>
9.1.	ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA	90
9.2.	ESTUDIO EXPERIMENTAL	90
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>

**ANEXO A. RESULTADOS EXPERIMENTALES** **94**

---

<b>A.1. RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES POR PRISMA</b>	<b>94</b>
<b>A.2. RESUMEN DE VERIFICACIONES</b>	<b>97</b>

**ANEXO B. RESULTADOS ESTADÍSTICOS** **105**

---

<b>B.1. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL MORTERO</b>	<b>106</b>
B.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	106
B.1.2. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'mor\ esperada$	107
B.1.3. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'mor\ experimental$	108
<b>B.2. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL CONCRETO DE RELLENO</b>	<b>109</b>
B.2.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE RELLENO	109
B.2.2. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS PATRÓN DE RELLENO	110
B.2.3. ANÁLISIS DE $f'm$ DE PRISMAS HUECOS	111
B.2.4. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'g$ DE PRISMAS RELLENOS	112
<b>B.3. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD</b>	<b>113</b>
B.3.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE	113
B.3.2. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'b\ esperada$	114
B.3.3. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS $f'b\ experimental$	115
<b>B.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD</b>	<b>117</b>
B.4.1. ANÁLISIS DE $f'm$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE	117
B.4.2. ANÁLISIS DE $f'b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE	118

## FIGURAS

---

<b>FIGURA 1.</b> METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
<b>FIGURA 2.</b> MODOS DE FALLA DE PRISMAS.....	9
<b>FIGURA 3.</b> RESISTENCIA DEL PRISMA VERSUS RESISTENCIA DEL BLOQUE EN MAMPOSTERÍA DE CONCRETO .....	10
<b>FIGURA 4.</b> EFECTO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO .....	10
<b>FIGURA 5.</b> RESISTENCIA DEL PRISMA VERSUS RESISTENCIA DE MORTERO EN MAMPOSTERÍA DE CONCRETO .....	11
<b>FIGURA 6.</b> EFECTO DE LA RELACIÓN ALTURA/ANCHO EN LA RESISTENCIA DEL PRISMA [6] .....	12
<b>FIGURA 7.</b> RELACIONES DE ESFUERZO – DEFORMACIÓN.....	13
<b>FIGURA 8.</b> ESTADO DE ESFUERZOS MULTIAXIAL.....	14
<b>FIGURA 9.</b> PRISMAS DE MAMPOSTERÍA .....	15
<b>FIGURA 10.</b> CORTE DE BLOQUES PARA PRISMAS .....	15
<b>FIGURA 11.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA, PARA MORTERO TIPO N.....	22
<b>FIGURA 12.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA, PARA MORTERO TIPO S .....	22
<b>FIGURA 13.</b> VARIACIÓN DE LOS VALORES TABULADOS PARA MORTERO TIPO S .....	24
<b>FIGURA 14.</b> VARIACIÓN DE LOS VALORES TABULADOS PARA MORTERO TIPO N.....	24
<b>FIGURA 15.</b> LÍNEA DE TIEMPO DE INVESTIGACIONES EN COSTA RICA.....	26
<b>FIGURA 16.</b> HISTOGRAMA DE VALORES DE RESISTENCIA DE BLOQUES .....	28
<b>FIGURA 17.</b> PROMEDIOS ANUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES.....	28
<b>FIGURA 18.</b> HISTOGRAMA DE VALORES DE RESISTENCIA DE PRISMAS DE MAMPOSTERÍA.....	28
<b>FIGURA 19.</b> LÍNEA DE TIEMPO DE INVESTIGACIONES INTERNACIONALES .....	29
<b>FIGURA 20.</b> ANÁLISIS DE RESULTADOS – TOTAL.....	31
<b>FIGURA 21.</b> ANÁLISIS DE RESULTADOS – PROMEDIO .....	31
<b>FIGURA 22.</b> BLOQUES PREPARADOS PARA ENSAYO .....	36
<b>FIGURA 23.</b> CURADO DE BLOQUES DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
<b>FIGURA 24.</b> PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
<b>FIGURA 25.</b> PREPARACIÓN DEL MORTERO .....	37
<b>FIGURA 26.</b> COLOCACIÓN DE MORTERO EN PRISMAS .....	37
<b>FIGURA 27.</b> ELABORACIÓN DE LOS CUBOS .....	37
<b>FIGURA 28.</b> CUBOS DE MORTERO EN CÁMARA HÚMEDA.....	37
<b>FIGURA 29.</b> REVISIÓN DE REVENIMIENTO .....	38
<b>FIGURA 30.</b> ELABORACIÓN DE LOS PRISMAS DE CONCRETO DE RELLENO .....	38

<b>FIGURA 31.</b> PRISMAS DE CONCRETO DE RELLENO.....	38
<b>FIGURA 32.</b> COLOCACIÓN DE MORTERO DE PEGA.....	39
<b>FIGURA 33.</b> NIVELACIÓN DE PRISMAS.....	39
<b>FIGURA 34.</b> COLOCACIÓN DE CONCRETO DE RELLENO.....	39
<b>FIGURA 35.</b> FINALIZACIÓN Y CIERRE DE BOLSAS.....	39
<b>FIGURA 36.</b> PRISMAS CURADOS POR 28 DÍAS ANTES DE CORONAR.....	40
<b>FIGURA 37.</b> PRISMAS CORONADOS PARA ENSAYO.....	40
<b>FIGURA 38.</b> ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL UTILIZADO.....	40
<b>FIGURA 39.</b> DIAGRAMA DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	42
<b>FIGURA 40.</b> ESQUEMA RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
<b>FIGURA 41.</b> HISTOGRAMA DE RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA.....	46
<b>FIGURA 42.</b> RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS RESISTENCIA DEL BLOQUE POR TIPO DE MORTERO.....	47
<b>FIGURA 43.</b> LÍNEAS DE TENDENCIA AL 95 % DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS RESISTENCIA DEL BLOQUE POR TIPO DE MORTERO.....	47
<b>FIGURA 44.</b> RELACIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN POR TIPO DE MORTERO CON LAS TENDENCIAS DEL TMS.....	49
<b>FIGURA 45.</b> LÍNEA DE TENDENCIA AL 95 % DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS RESISTENCIA DEL BLOQUE.....	49
<b>FIGURA 46.</b> RELACIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN CON LAS TENDENCIAS TMS.....	51
<b>FIGURA 47.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL MORTERO VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA.....	54
<b>FIGURA 48.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA DEL MORTERO.....	56
<b>FIGURA 49.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL MORTERO.....	56
<b>FIGURA 50.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL MORTERO.....	58
<b>FIGURA 51.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL MORTERO.....	59
<b>FIGURA 52.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL CONCRETO DE RELLENO VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA.....	62
<b>FIGURA 53.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL PATRÓN DE RELLENO.....	64
<b>FIGURA 54.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL BLOQUE SEGÚN EL PATRÓN DE RELLENO.....	65
<b>FIGURA 55.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EXPERIMENTAL DEL MORTERO VERSUS PATRÓN DE RELLENO.....	65
<b>FIGURA 56.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA DE PRISMAS HUECOS POR SET.....	68
<b>FIGURA 57.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO.....	68
<b>FIGURA 58.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA EN PRISMAS HUECOS POR SET.....	69
<b>FIGURA 59.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA DE PRISMAS RELLENOS POR SET.....	71
<b>FIGURA 60.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO EN PRISMAS RELLENOS.....	72

<b>FIGURA 61.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO EN PRISMAS RELLENOS.....	72
<b>FIGURA 62.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL BLOQUE VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA	75
<b>FIGURA 63.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA DEL BLOQUE.....	77
<b>FIGURA 64.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA DEL BLOQUE .....	77
<b>FIGURA 65.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL BLOQUE.....	79
<b>FIGURA 66.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL BLOQUE.....	79
<b>FIGURA 67.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL BLOQUE VERSUS LA RESISTENCIA ESPERADA .....	80
<b>FIGURA 68.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL ANCHO DEL BLOQUE .....	82
<b>FIGURA 69.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	83
<b>FIGURA 70.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL BLOQUE VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	83
<b>FIGURA 71.</b> GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES PARA LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL DEL BLOQUE VERSUS EL ANCHO DE BLOQUE.....	85
<b>FIGURA 72.</b> RELACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	86

## TABLAS

---

<b>TABLA 1.</b> FACTOR DE CORRECCIÓN PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE MAMPOSTERÍA .....	8
<b>TABLA 2.</b> VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA $f'm$ .....	17
<b>TABLA 3.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA BASADA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y EL TIPO DE MORTERO UTILIZADO. TMS 402/602-2022 .....	21
<b>TABLA 4.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA BASADA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y EL TIPO DE MORTERO UTILIZADO. TMS 402/602-2013 .....	23
<b>TABLA 5.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA BASADA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y EL TIPO DE MORTERO UTILIZADO. TMS 402/602-2011 .....	23
<b>TABLA 6.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA BASADA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y EL TIPO DE MORTERO UTILIZADO. TMS 402/602-2005 .....	24
<b>TABLA 7.</b> TAMAÑO DE LA MUESTRA .....	39
<b>TABLA 8.</b> RESUMEN DEL MANEJO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA INVESTIGACIÓN .....	41
<b>TABLA 9.</b> DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS DE PRISMAS .....	43
<b>TABLA 10.</b> PROPUESTA DE TABLA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE MORTERO .....	48
<b>TABLA 11.</b> PROPUESTA DE TABLA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIN DISTINCIÓN DE TIPO DE MORTERO .....	50
<b>TABLA 12.</b> RESISTENCIAS DEL MORTERO $f'mor\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'mor\ esperada$ .....	52
<b>TABLA 13.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'mor\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'mor\ esperada$ .....	53
<b>TABLA 14.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'mor\ esperada$ .....	55
<b>TABLA 15.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'mor\ experimental$ .....	57
<b>TABLA 16.</b> RESISTENCIAS DEL CONCRETO DE RELLENO $f'g\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'g\ esperada$ .....	60
<b>TABLA 17.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'g\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'g\ esperada$ .....	61
<b>TABLA 18.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ SEGÚN EL <i>patrón de relleno</i> .....	63
<b>TABLA 19.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ DE <i>prismas huecos</i> .....	67
<b>TABLA 20.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ DE <i>prismas rellenos</i> .....	70
<b>TABLA 21.</b> RESISTENCIA DE LOS BLOQUES $f'b\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'b\ esperada$ Y TAMAÑO DE BLOQUE .....	73
<b>TABLA 22.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'b\ experimental$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'b\ esperada$ .....	74
<b>TABLA 23.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'b\ esperada$ .....	76
<b>TABLA 24.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ VERSUS LA RESISTENCIA $f'b\ experimental$ .....	78
<b>TABLA 25.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'm$ VERSUS <i>ancho del bloque</i> .....	81
<b>TABLA 26.</b> RESUMEN ESTADÍSTICO PARA $f'b$ VERSUS <i>ancho del bloque</i> .....	84
<b>TABLA 27.</b> RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES POR PRISMA .....	94
<b>TABLA 28.</b> VERIFICACIONES PARA $f'mor$ .....	97
<b>TABLA 29.</b> VERIFICACIONES PARA $f'b$ .....	100

<b>TABLA 30.</b> VERIFICACIONES PARA $f'g$ .....	103
<b>TABLA 31.</b> RESUMEN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA CADA COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES EN ESTUDIO .....	105
<b>TABLA 32.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'mor$ .....	106
<b>TABLA 33.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'mor$ .....	106
<b>TABLA 34.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS $f'mor$ <i>esperada</i> .....	107
<b>TABLA 35.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS $f'mor$ <i>esperada</i> .....	107
<b>TABLA 36.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS $f'mor$ <i>experimental</i> .....	108
<b>TABLA 37.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS $f'mor$ <i>experimental</i> .....	108
<b>TABLA 38.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'g$ .....	109
<b>TABLA 39.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'g$ .....	109
<b>TABLA 40.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS PATRÓN DE RELLENO .....	110
<b>TABLA 41.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS PATRÓN DE RELLENO .....	110
<b>TABLA 42.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ DE PRISMAS HUECOS .....	111
<b>TABLA 43.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ DE PRISMAS HUECOS .....	111
<b>TABLA 44.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS $f'g$ .....	112
<b>TABLA 45.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS $f'g$ .....	112
<b>TABLA 46.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'b$ .....	113
<b>TABLA 47.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'b$ .....	113
<b>TABLA 48.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS $f'b$ <i>esperada</i> .....	114
<b>TABLA 49.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS $f'b$ <i>esperada</i> .....	114
<b>TABLA 50.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS $f'b$ <i>experimental</i> .....	115
<b>TABLA 51.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS $f'b$ <i>experimental</i> .....	116
<b>TABLA 52.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'm$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	117
<b>TABLA 53.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'm$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	117
<b>TABLA 54.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR POR EL MÉTODO ANOVA PARA $f'b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	118
<b>TABLA 55.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA POR EL MÉTODO TUKEY PARA $f'b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE .....	118

## ABREVIATURAS

---

$f'_m$	Resistencia a compresión de los prismas de mampostería
$f'_b$	Resistencia a la compresión de las unidades de mampostería
$f'_{mor}$	Resistencia a la compresión del mortero
$f'_g$	Resistencia a la compresión del concreto de relleno
$b$	Ancho del bloque

**PARTE I**

---

# **INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

---

En esta sección se plantea la justificación, importancia, objetivos, alcance y metodología de la investigación.

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

El Código Sísmico de Costa Rica 2014 [1] define la resistencia a la compresión de la mampostería en tres categorías: A, B y C. Para cada una de estas categorías, se define una resistencia a la compresión del mortero y del concreto de relleno, de manera que tanto la resistencia del mortero como la del concreto de relleno mantienen una relación proporcional a la resistencia de la mampostería, por lo tanto, a mayor resistencia de mortero o concreto de relleno, se estima un mayor  $f'_m$ , tal como se indica en las secciones A1.1, A.1.4, A.1.5 y A.2 y se detalla en la **sección 4.1** de este documento.

Sin embargo, desde hace más de 20 años se han realizado investigaciones a nivel internacional que demuestran que no se trata de una relación directamente proporcional y se han generado correlaciones entre la resistencia a la compresión de la mampostería y los materiales que la componen, tales como la unidad de mampostería, el mortero y el concreto de relleno.

Un ejemplo de estas correlaciones se presenta en la Tabla 2 de la especificación TMS 402/602-2022 [2], la cual es la base del método de resistencia de la unidad de mampostería descrito en la **sección 4.2** de este documento. A partir de esta tabla se puede estimar o revisar el cumplimiento de una determinada resistencia a la compresión de la mampostería, tomando en cuenta el tipo de mortero y la resistencia a la compresión sobre el área neta de la unidad utilizada. También se puede utilizar en el sentido inverso, para determinar las resistencias requeridas de la unidad y del mortero a partir de una resistencia a la compresión de la mampostería especificada.

Este planteamiento del TMS es la base de los cambios que presentará el capítulo de mampostería del CSCR, entre ellos, la eliminación de las categorías A, B y C y la incorporación de valores mínimos de resistencia de la mampostería y sus componentes, sin embargo, aún no se cuenta con datos de resistencia  $f'_m$  a partir de las correlaciones de resistencia de los componentes de la mampostería.

Pese a que este es un tema que ha sido ampliamente estudiado a nivel internacional, en la normativa técnica costarricense no se puede simplemente adoptar los resultados de investigaciones internacionales, debido a que estas correlaciones responden a propiedades de los materiales empleados tales como el cemento y los agregados, que dependen de las condiciones geológicas de la zona de extracción. Por tal razón, es necesario y justificado medir el valor de la resistencia a la compresión de la mampostería y sus componentes y generar las correlaciones propias de la mampostería nacional que sirvan de sustento técnico para futuros cambios en el CSCR actual.

## 1.2. IMPORTANCIA

De acuerdo con las disposiciones de códigos internacionales como el TMS 402/602-2022 [2] y el IBC 2018 [3], la resistencia mínima a la compresión de la mampostería  $f'_m$ , debe ser verificada para todas las estructuras de mampostería de concreto diseñadas de acuerdo con las siguientes filosofías de diseño:

- Diseño por resistencia
- Diseño por esfuerzos admisibles
- Diseño de mampostería preesforzada.

La normativa vigente para el diseño de estructuras de mampostería en nuestro país es el CSCR 2010-14 [1], en el cual, el capítulo 9 denominado Requisitos para mampostería estructural, establece que el valor de la resistencia a la compresión de la mampostería se utiliza en múltiples cálculos de diseño y análisis, tales como:

- El cálculo del módulo de elasticidad de la mampostería ( $E_m$ )
- El cálculo del factor de reducción de resistencia nominal en flexión y carga axial ( $\phi$ )
- El cálculo de la inercia agrietada ( $I_{cr}$ )
- El cálculo del módulo de ruptura de la mampostería ( $f_r$ )
- El cálculo de la longitud de desarrollo ( $l_d$ ) y la longitud de empalme ( $l_{empalme}$ )
- El cálculo de la resistencia axial ( $P_n$ ) en pilares, columnas y muros de corte
- El cálculo de la carga axial de compresión máxima en un pilar ( $0.3f'_m A_e$ )
- El cálculo de la resistencia en flexocompresión de muros ( $M_n$ )
- El cálculo de deformaciones a media altura en muros ( $\Delta_s$ )
- El cálculo de la contribución de la mampostería en la resistencia nominal al cortante ( $V_m$ ) y el límite de resistencia nominal de cortante ( $V_n máx$ ) en vigas, pilares, columnas y muros
- Determinar si un elemento se considera en flexocompresión (carga axial mayorada mayor que  $0.1f'_m A_e$ ) o en flexión (carga axial factorizada menor que  $0.1f'_m A_e$ )

En nuestro país, la mampostería es el principal sistema constructivo para viviendas y edificaciones de pequeño a mediano tamaño; por esta razón es de suma importancia actualizar los valores establecidos en el CSCR 2010-14 para la resistencia a la compresión de la mampostería los cuales son aplicados en diseño y análisis de estructuras. Contar con estos valores resultará en diseños más seguros.

### 1.3. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una correlación de resistencia a la compresión de la mampostería de concreto para diferentes resistencias de compresión de unidades de mampostería de concreto y tipos de morteros.

### 1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el manejo de las variables de resistencia de los componentes de la mampostería para obtener una muestra representativa para la medición de la resistencia a la compresión de prismas de mampostería de concreto.
- Medir la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería, mortero, concreto de relleno y prismas de mampostería.
- Correlacionar los valores de resistencia a la compresión de la mampostería con la resistencia a la compresión de la unidad, mortero, concreto de relleno y anchos de bloque estudiados.
- Desarrollar una propuesta normativa para su posible inclusión en el Código Sísmico de Costa Rica.

### 1.5. ALCANCE

- Se elaboraron 3 prismas por grupo de acuerdo con la norma ASTM C1314-16 [4], para un total de 36 grupos y 108 prismas. Cada grupo corresponde a una combinación dada de resistencia de unidad de mampostería, tipo de mortero, concreto de relleno y tamaño de bloque.
- Todos los prismas se elaboraron de un mismo tamaño correspondiente a 2 unidades de mampostería cortadas a la mitad según la norma ASTM 1314-16 [4].
- Se utilizaron 3 rangos de resistencia de bloques de un mismo fabricante, cada rango de resistencia se preparó para 3 diferentes tamaños de bloques.
- Se utilizaron 2 resistencias de morteros: tipo S y tipo N de morteros preempacados de un mismo fabricante. Se elaboró 1 mezcla de cada tipo de mortero, para cada resistencia y tamaño de bloque analizado.
- Se utilizó concreto de relleno de 2 resistencias, preempacado de un mismo fabricante, cuya resistencia debía superar el valor máximo esperado de los prismas de mampostería a ensayar.

## 1.6. METODOLOGÍA

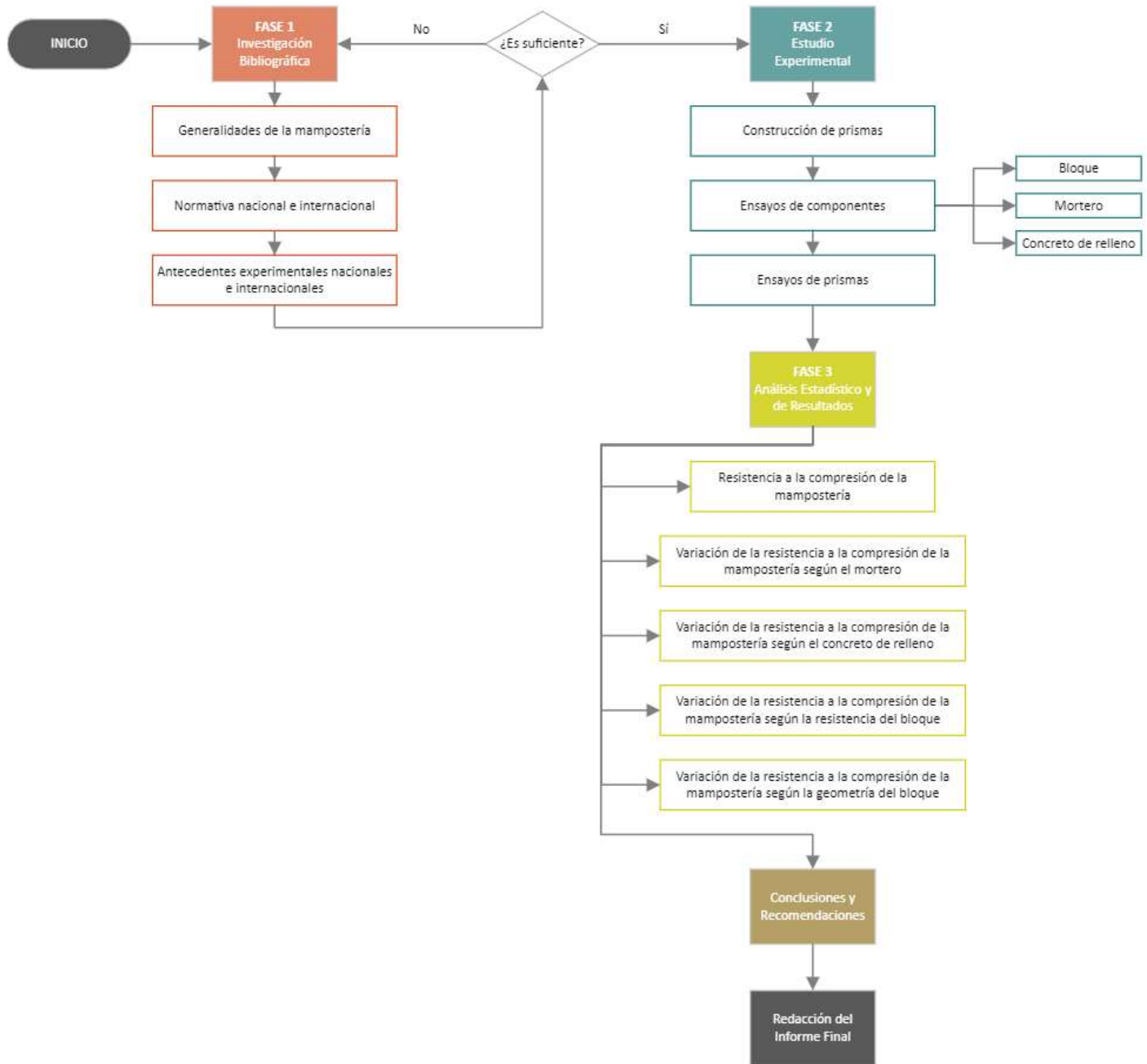
El desarrollo de esta investigación se dividió en 3 fases. La primera fase consistió en una investigación bibliográfica, con el fin de construir un marco teórico y estado del arte del estudio experimental de la resistencia a la compresión de la mampostería en Costa Rica y en el mundo, a nivel experimental, analítico y normativo.

La segunda fase consistió en un estudio experimental, el cual inició con un planteamiento de las variables de estudio, seguido por las gestiones de donación y fabricación de los bloques de concreto y mezclas de mortero de pega y concreto de relleno. Los bloques fueron fabricados para 3 resistencias específicas, en 3 anchos de bloque para cada resistencia. Se utilizaron 2 resistencias de concreto de relleno y 2 de mortero.

Una vez se tuvieron los materiales, se inició la construcción de los prismas de mampostería, la preparación de los prismas de concreto de relleno, cubos de mortero de pega y ensayos de área neta de bloques. Esta etapa se realizó durante 6 días, cada día se construyeron prismas con diferentes variables a considerar en la resistencia a la compresión de la mampostería. Cuando se cumplieron los 28 días de construcción de los especímenes, se realizó el coronamiento y falla a compresión.

Durante la tercera etapa se desarrolló el análisis de resultados, para el cuál se calculó la resistencia a la compresión de la mampostería a partir de los resultados medidos experimentalmente y se correlacionó la resistencia de la mampostería con la resistencia del mortero, del bloque y del concreto de relleno, además con el patrón de relleno y el ancho de bloque. Finalmente se plantearon las conclusiones y recomendaciones del estudio.

El esquema de la metodología mediante el cual se desarrolló esta investigación se muestra en la **Figura 1**; donde se puede observar las tres fases principales de la investigación: investigación bibliográfica, análisis experimental y por último, análisis y correlación de resultados.



**Figura 1.** Metodología de la investigación

**PARTE II**

---

## **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

## 2. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA

A continuación, se presenta los conceptos más importantes relacionados con la medición y el análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$ .

### 2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

La resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  se puede definir como la capacidad en compresión de prismas que incluyen los bloques, el mortero, el concreto de relleno y la mano de obra a emplearse, según los comentarios del CSCR 2010 en su sección CA.2. [5]

Para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería se construyen y ensayan prismas, los cuales, son ensamblajes de alguno o todos los elementos que constituyen la mampostería, tales como las unidades de mampostería, el mortero de pega y el concreto de relleno. Drysdale y Hamid [6] afirman que para entender el comportamiento fundamental de la mampostería es necesario conocer la interacción entre estos materiales y factores que afectan física y mecánicamente sus propiedades.

La determinación de los requisitos físicos y mecánicos de los materiales que componen la mampostería es indispensable para mantener los estándares de fabricación, control de calidad en construcción y sobre todo para predecir un adecuado comportamiento estructural del conjunto.

Al igual que con el concreto, es usual describir la calidad de la mampostería en términos de su resistencia a la compresión  $f'_m$ , sin embargo, como plantea esta investigación, la mampostería exhibe complejas interacciones y para lograr una adecuada predicción de su comportamiento es necesario estudiar no solo los materiales sino también la geometría de las unidades, los planos de debilidad creados por las juntas de mortero, mano de obra, curado, entre otros. En la **sección 2.4** y la **sección 2.3** se describen las interacciones más estudiadas en la mampostería.

### 2.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO

Según lo indicado en la norma ASTM C1314-16 [4], se puede calcular la resistencia de cada prisma de mampostería, dividiendo la carga de compresión máxima de cada prisma entre el área neta de la sección transversal de ese prisma y expresar el resultado a los  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  (69 kPa) más cercanos. Adicionalmente, se debe multiplicar la resistencia del prisma de mampostería por el factor de corrección.

El factor de corrección se debe calcular a partir de la **Tabla 1**, según la relación  $h_p/t_p$  (altura/ancho) para cada prisma, utilizando la dimensión de altura y la dimensión menor lateral del prisma. Si la relación no se encuentra entre los valores dados en la tabla, se determina el factor de corrección mediante interpolación lineal.

**Tabla 1.** Factor de corrección para resistencia a la compresión de prismas de mampostería

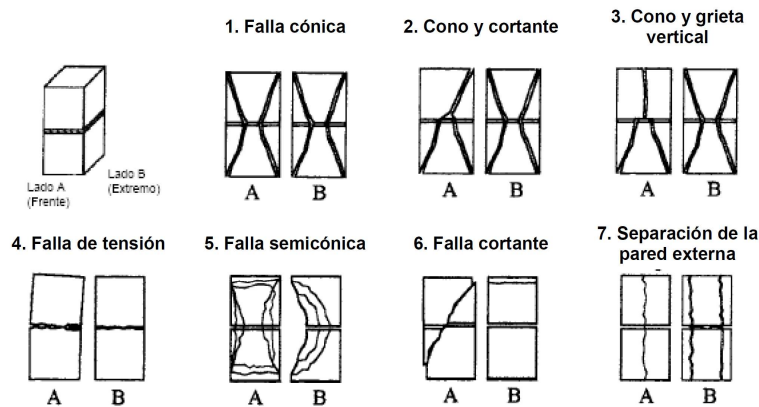
$h_p/t_p$	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

**Fuente.** Adaptada de INTE C55-15 [7] / ASTM C1314-16 [4]

El área de la sección transversal neta de los prismas huecos se toma como el área de la sección transversal neta de las unidades de mampostería, determinada a partir de una muestra representativa de unidades de acuerdo con los métodos de prueba de ASTM C140 [8]. Para prismas rellenos, se calcula multiplicando la longitud y el ancho del prisma. Si se usan unidades cortadas para la construcción del prisma, el área de la sección transversal neta se determina de unidades adicionales cortadas de manera similar.

Cuando se prueban grupos de prismas huecos y rellenos, la resistencia del prisma de mampostería se calcula por separado para el grupo hueco y el grupo relleno promediando sus valores.

Las pruebas de compresión de prismas con relaciones de altura/ancho menores de 2:1, tienden a producir la falla de compresión cónica, similar a la falla de cilindros de concreto, a diferencia de los prismas con relaciones de altura/ancho mayores, con altura suficiente para minimizar los efectos de borde, que exhiben agrietamiento vertical a través de las unidades de mampostería, similar a la falla observada en pruebas de paredes a gran escala [6]. En la **Figura 2** se muestra los modos de falla esperados de los prismas según la norma ASTM C1314-16 [4].



**Figura 2.** Modos de falla de prismas

Fuente. INTE C55-15 [7], ASTM C1314-16 [4]

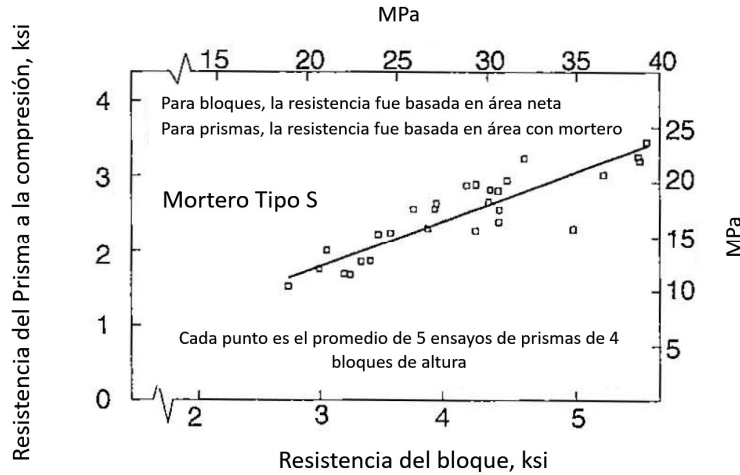
### 2.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

A continuación, se presenta los factores que afectan la resistencia a la compresión de la mampostería, tomando como referencia a Drysdale y Hamid [6].

#### 2.3.1. RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA

La resistencia a la compresión del prisma usualmente aumenta linealmente con la resistencia de la unidad, en el rango común de resistencias de la unidad. Sin embargo, dado que el mecanismo de falla a la compresión del prisma es muy diferente al de las unidades, se deduce que otros factores pueden generar una dispersión significativa, como lo son la resistencia a la tracción y la geometría de la unidad, además del espesor de las placas de apoyo, las propiedades del mortero y la técnica de ensayo.

Las tablas usualmente presentadas en códigos de diseño se basan conservadoramente en los valores de resistencia permitidos más bajos, debido a la alta variación de los resultados, por tal motivo, los ensayos de compresión siempre dan resistencias mayores a las indicadas en estas tablas.



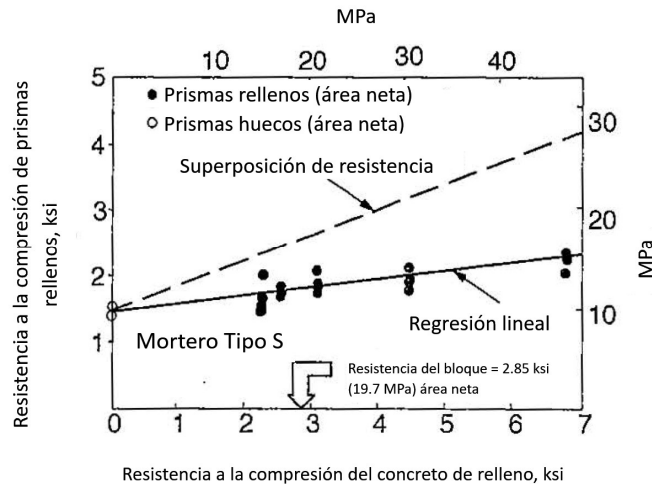
**Figura 3.** Resistencia del prisma versus resistencia del bloque en mampostería de concreto

**Fuente.** Adaptada de Drysdale y Hamid [6]

### 2.3.2. RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO

La mampostería rellena alcanza resistencias más bajas que las calculadas usando la superposición de la capacidad del área de concreto de relleno y la capacidad del área con mortero de la unidad. Por lo tanto, la resistencia basada en el área bruta de los prismas rellenos presenta resultados menores que los basados en el área neta de los prismas huecos.

A pesar de lo observado, los códigos de diseño como el TMS 402/602-2022 [2] no hacen diferencia entre los valores de resistencia sugerida para mampostería rellena y hueca, como se muestra en la **sección 4.2** de este documento, sin embargo, sí especifica la resistencia mínima que debe tener el concreto de relleno de acuerdo con la resistencia de la mampostería esperada.



**Figura 4.** Efecto de la resistencia del concreto de relleno en la resistencia a la compresión de la mampostería de concreto

**Fuente.** Adaptada de Drysdale y Hamid [6]

### 2.3.3. RESISTENCIA DEL MORTERO

Las propiedades del mortero afectan los esfuerzos en los prismas cargados axialmente. La correlación entre la resistencia del mortero y la resistencia de los prismas es particularmente visible cuando se utilizan bloques de alta resistencia.

Pese a esto, el aumento en la resistencia del prisma es menor conforme aumenta la resistencia del mortero. Es por esta razón que en la práctica es más recomendable enfocarse en consideraciones como trabajabilidad y deformabilidad del mortero.

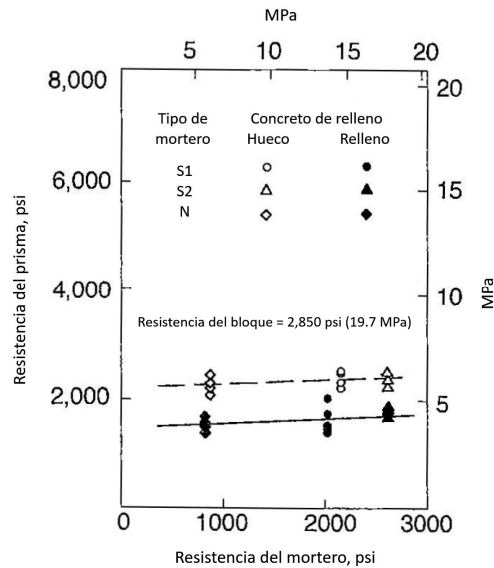


Figura 5. Resistencia del prisma versus resistencia de mortero en mampostería de concreto

Fuente. Adaptada de Drysdale y Hamid[6]

### 2.3.4. GEOMETRÍA DE LA UNIDAD Y ÁREA DE MORTERO EN LA JUNTA HORIZONTAL

Las grietas verticales en los prismas de mampostería están relacionadas con los esfuerzos de tracción lateral en las unidades de mampostería y la magnitud de estos esfuerzos está asociada con la geometría del bloque, dado que, los esfuerzos de tracción vertical que se desarrollan en el mortero varían según la geometría de la capa de mortero de pega (junta horizontal), la cual depende de la geometría del bloque.

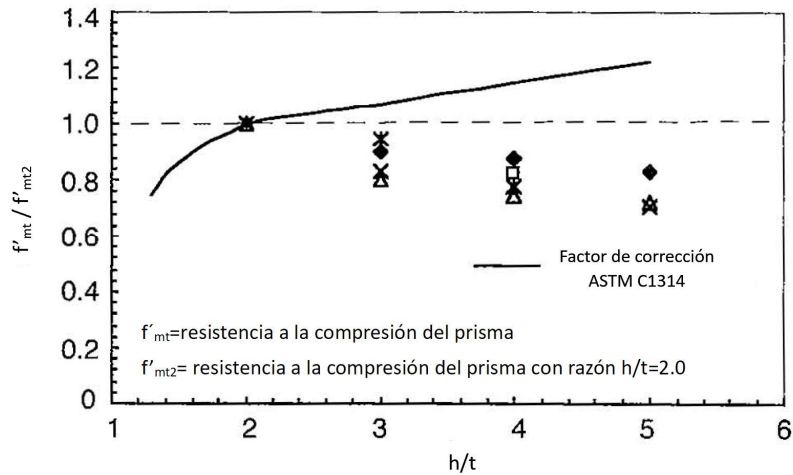
### 2.3.5. ALTURA DEL PRISMA

La resistencia a la compresión de los prismas tiende a disminuir al aumentar la altura del prisma debido a los efectos de confinamiento de las placas de carga.

Además, los prismas de bloque hueco de dos unidades de altura, que incorporan solo una junta de mortero, no pueden simular la interacción completa entre las unidades y el mortero que es representativo del comportamiento de la pared a gran escala.

Al aumentar la altura del prisma se promueve la grieta vertical característica de los modelos a escala natural, a diferencia de la falla cónica característica de los prismas de dos bloques de altura. Se requiere prismas de al menos 4 unidades de altura para que se desarrolle la grieta vertical.

Para contrarrestar esta situación, la norma ASTM C1314-16 [4] provee factores de corrección de altura según la relación altura-ancho del prisma ensayado.



**Figura 6.** Efecto de la relación altura/ancho en la resistencia del prisma [6]

**Fuente.** Adaptada de Drysdale y Hamid[6]

### 2.3.6. PLACAS DE APOYO

Las placas de acero empleadas inducen a una falla cónica en prismas pequeños, ante esta situación fue necesario crear requisitos de ensayo para el montaje experimental, con el objetivo de obtener resultados más consistentes y repetibles del ensayo a compresión de prismas. Desde el año 2000 la norma ASTM-1314 [4] introduce en el anexo A1 los requisitos para determinar el espesor y dimensiones de las placas de acero para el procedimiento de ensayo de compresión y de esta manera uniformizar los resultados experimentales obtenidos. En el año 2010 se crea la norma ASTM 1716-22 [9], para especificar los requisitos de la máquina de ensayo de compresión de prismas de mampostería. Y en el año 2018 se elimina el anexo A1 de la norma ASTM 1314 y se hace referencia directa a la norma ASTM 1716.

### 2.3.7. PATRÓN DE COLOCACIÓN DEL MORTERO EN LOS PRISMAS

La norma ASTM C1314-16 [4] indica que la colocación del mortero debe ser completa en las juntas entre unidades en estiba, sin embargo, los prismas de dos unidades de altura no representan completamente el sistema constructivo, por lo cual, para evaluaciones más realistas se suelen fabricar prismas con unidades traslapadas. Experimentalmente se ha determinado que la resistencia a la compresión presenta una reducción de 4 % en prismas rellenos de concreto y traslapados en comparación con los prismas en estiba.

### 2.3.8. ESPESOR DE JUNTA DE MORTERO

El efecto del espesor de la junta horizontal de mortero en prismas completamente rellenos es muy reducido por la continuidad del concreto de relleno, sin embargo, en prismas huecos se analiza la razón

entre la altura de la unidad y el espesor de la junta de mortero. Experimentalmente se ha determinado una disminución de la resistencia del prisma al aumentar el espesor de la junta.

### 2.3.9. ÁREA DEL MORTERO

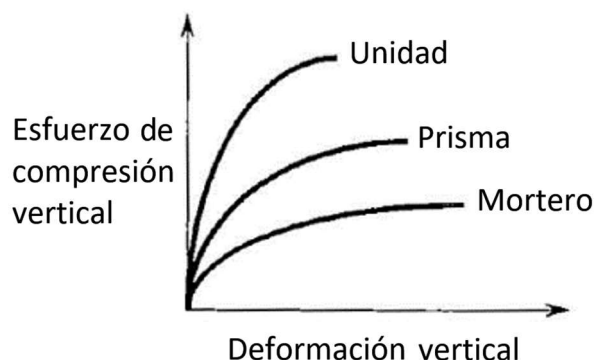
El mecanismo de falla para los prismas hechos con unidades huecas varía si se utiliza mortero en todas las caras de la unidad o si solamente se utiliza en las caras frontales. Se ha determinado experimentalmente que la resistencia de los prismas con mortero únicamente en las caras frontales aumenta entre 4 % y 11 % respecto a los prismas con mortero en todas las paredes.

## 2.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN EL TIPO DE PRISMA

Existen hipótesis detalladas por Hamid y Drysdale [10] para explicar el mecanismo de falla y las interacciones de los materiales que conforman la mampostería en los casos donde la resistencia a la compresión uniaxial del mortero es menor que la resistencia de las unidades de mampostería. Indican que las situaciones en las que las unidades son más débiles que el mortero podrían dar como resultado un comportamiento diferente.

### 2.4.1. PRISMAS DE MAMPOSTERÍA HUECOS CON MORTERO EN TODA LA JUNTA HORIZONTAL

- La resistencia a la compresión de los prismas es mayor o igual que la de los cubos de mortero de pega y consistentemente menor que la de las unidades de mampostería como se observa en la **Figura 7**.
- Bajo esfuerzos de compresión, el mortero como material más débil y con módulo de ruptura más bajo tiende a expandirse lateralmente a una razón mayor que la unidad de mampostería.
- Las unidades de mampostería restringen la expansión del mortero, creando un estado triaxial cuyo valor de resistencia es más alto que el del estado uniaxial. Las fuerzas triaxiales de compresión en el mortero se contrarrestan por equilibrio con cargas biaxiales en la unidad de mampostería, produciendo agrietamiento vertical en las unidades de mampostería como se observa en la **Figura 8**.



**Figura 7.** Relaciones de esfuerzo – deformación

**Fuente.** Adaptada de Drysdale y Hamid [6]

## 2.4.2. PRISMAS DE MAMPOSTERÍA CON CONCRETO DE RELLENO Y MORTERO EN TODA LA JUNTA HORIZONTAL

- Reducción de la resistencia de los prismas rellenos resultado de la superposición de la resistencia del prisma hueco con mortero en toda la junta horizontal y de las columnas de concreto de relleno. Algunas de las causas pueden ser compactación incompleta y la contracción plástica del concreto de relleno, la incompatibilidad de deformaciones de los materiales y los factores geométricos como por ejemplo la forma trapezoidal de las paredes de la unidad.
- Reducción de la resistencia del concreto de relleno por la tracción inicial debida a la contracción plástica y los efectos de holgura por la compactación incompleta.
- Deformaciones mayores debidas a fuerzas de tracción adicionales en la unidad de mampostería, producto de la incompatibilidad de deformaciones y las diferencias de relación de Poisson entre el concreto de relleno y la unidad.

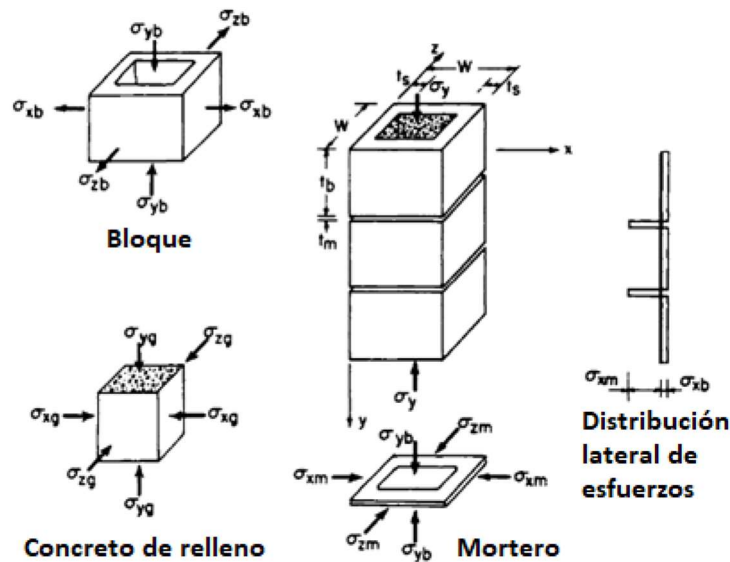


Figura 8. Estado de esfuerzos multiaxial

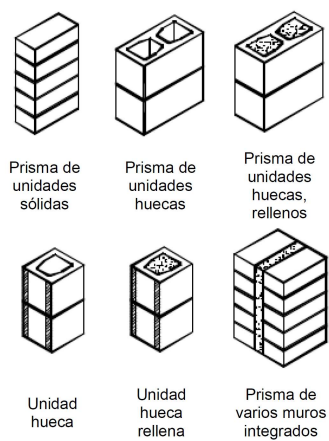
Fuente. Adaptada de Drysdale y Hamid [10]

### 3. METODOLOGÍAS DE ENSAYO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación, se sintetizan las normas técnicas relacionadas con la medición de la resistencia de la mampostería  $f'_m$ .

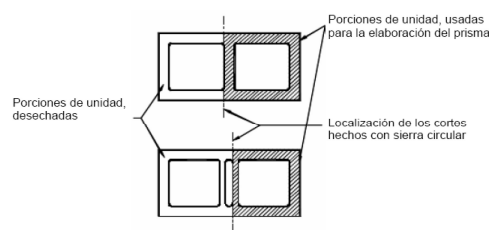
#### 3.1. PRISMAS DE MAMPOSTERÍA

- **INTE C55 [7] / ASTM C1314 [4]** - Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería / Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms - La principal clave del ensayo es la carga que transfiere el mecanismo a la parte superior e inferior del prisma, por lo cual son indispensables, el coronamiento para proveer una superficie plana y placas gruesas de carga para distribuir la carga uniformemente en el prisma. Indica que se deben construir grupos de al menos 3 prismas para cada combinación de materiales y edad de falla, cada prisma debe colocarse en una bolsa cerrada, los prismas deben ser de al menos 2 unidades, pueden ser de bloques cortados previo a la construcción, ver **Figura 9** y en la **Figura 10**; se debe colocar el mortero en todas las juntas horizontales y se deben rellenar entre 4 y 48 horas posteriores a su construcción. Los prismas no se pueden mover en las primeras 48 horas de curado y deben estar a una temperatura de  $24 \pm 8$  °C. La bolsa se retira dos días antes del ensayo.



**Figura 9.** Prismas de mampostería

**Fuente.** INTE C55-15 [7], ASTM C1314–16 [4]



**Figura 10.** Corte de bloques para prismas

**Fuente.** INTE C55-15 [7], ASTM C1314–16 [4]

- **INTE C53 [11] / ASTM C1552 [12]** - Práctica para el coronamiento de unidades de mampostería de concreto. Unidades relacionadas y prismas de mampostería para ensayos de compresión / Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing - Indica que la placa de coronamiento debe ser de al menos 25 mm si es de acero o 76 mm si es de granito, plana al centro y nivelada. Se puede usar vidrio con espesor mayor a 13 mm. La capa de coronamiento puede ser una capa delgada de mortero con compuestos de recubrimiento de alta resistencia como hydrostone (material de base de yeso de fraguado rápido) o material de recubrimiento de azufre derretido.

### 3.2. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

- **INTE C90 [13] / ASTM C90 [14]** – ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA HUECA DE CONCRETO PARA USO ESTRUCTURAL. REQUISITOS / STANDARD SPECIFICATION FOR LOADBEARING CONCRETE MASONRY UNITS – Indica que las unidades de mampostería a ser ensayadas deben estar libres de fracturas o algún otro tipo de defecto, además de los requisitos dimensionales, absorción, densidad y resistencia.
- **INTE C50 [15] / ASTM C140 [8]** – MUESTREO Y MÉTODO DE ENSAYO DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y UNIDADES RELACIONADAS / STANDARD TEST METHODS FOR SAMPLING AND TESTING CONCRETE MASONRY UNITS AND RELATED UNITS – Indica el método de ensayo y muestreo de las unidades de mampostería para determinar las dimensiones, resistencia, absorción, densidad y contenido de humedad.

### 3.3. CONCRETO DE RELLENO

- **INTE C88 [16] / ASTM C476 [17]** – NORMA PARA EL CONCRETO DE RELLENO PARA MAMPOSTERÍA / STANDARD SPECIFICATION FOR GROUT FOR MASONRY – El concreto de relleno puede ser convencional o autocompactante, el concreto de relleno convencional y el autocompactado se especifican por requisitos de resistencia. Cuando se coloca, el convencional requiere consolidación mecánica por envarillado o vibración y el autocompactado no requiere consolidación mecánica.
- **INTE C56 [18] / ASTM C1019 [19]** – MUESTREO Y ENSAYOS DE CONCRETO DE RELLENO PARA MAMPOSTERÍA HUECA DE CONCRETO / STANDARD TEST METHOD FOR SAMPLING AND TESTING GROUT – Indica los procedimientos para el muestreo en campo y laboratorio y los parámetros del ensayo de compresión.

### 3.4. MORTERO

- **INTE C91 [20] / ASTM C270 [21]** – MORTERO PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA. REQUISITOS / STANDARD SPECIFICATION FOR MORTAR FOR UNIT MASONRY – Indica los requisitos que deben cumplir los morteros. Se definen cuatro tipos de morteros por proporción y por propiedades. Cuando no se especifican proporciones ni propiedades, deben prevalecer las especificaciones por proporción, excepto cuando se presenten y sean aceptados los resultados de ensayos.
- **INTE C57 [22] / ASTM C109 [23]** - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAÚLICO. USANDO ESPECÍMENES CÚBICOS DE 50 MM. MÉTODO DE ENSAYO / STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF HYDRAULIC CEMENT MORTARS (USING 2-IN. OR [50-MM] CUBE SPECIMENS – Indica los requisitos de equipos y moldes, tolerancias dimensionales del molde, requisitos de temperatura y humedad, modo de preparación y moldeo, determinación y cálculo del  $f'_{mor}$ .
- **INTE C79 [24] / ASTM C780 [25]** – MÉTODO DE ENSAYO PARA LA EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA MAMPOSTERÍA CON Y SIN REFUERZO ANTES Y DURANTE LA CONSTRUCCIÓN / STANDARD TEST METHOD FOR PRECONSTRUCTION AND CONSTRUCTION EVALUATION OF MORTARS FOR PLAIN AND REINFORCED UNIT MASONRY – Indica los procedimientos para la toma de muestras y ensayo de morteros por composición y propiedades plásticas y endurecidas, ya sea antes o durante la construcción, permite la comparación de morteros fabricados con diferentes materiales, bajo condiciones de campo simuladas.

## 4. NORMATIVA NACIONAL E INTERNACIONAL

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros y la clasificación establecida en el CSCR para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería en la **sección 4.1**.

También, se presenta un extracto de los códigos internacionales que más impactan esta investigación. En la **sección 4.2** se muestra el abordaje de The Mansory Society (TMS), el cual define la resistencia de la mampostería mediante correlaciones, tal como se pretende hacer en esta investigación y en la **sección 4.3** se muestra el abordaje de New Zealand Standard (NZS), el cual mantiene una relación más evidente con el actual CSCR 2010-14 dado que define 3 categorías para la mampostería.

### 4.1. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2010-14

El apéndice A, sección A.2 del CSCR 2010-14 [1], establece que la resistencia a la compresión de la mampostería se debe basar en ensayos de prismas construidos con los mismos materiales y mano de obra que se utilizan en la construcción de la obra. Esta sección indica, que los prismas deben ser ensayados según la norma INTE C55.

A la vez se indica también que el valor de  $f'_m$  mínimo a emplear para las diferentes clases de mampostería es el indicado en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Valores mínimos de resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$

Mampostería Clase	$f'_m$ sobre el área neta (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	100
B	70
C	60

Fuente. CSCR 2010-14 [1]

Cuando no exista información obtenida del ensayo de prismas, el valor de  $f'_m$  se puede suponer igual al valor mínimo indicado en la tabla anterior. Según el CSCR 2010-14 [1], las clases de mampostería indicadas en la columna izquierda se detallan para unidades huecas de mampostería de concreto en sus secciones A.1.1, A.1.4 y A.1.5 en función de la resistencia del bloque, la resistencia del mortero y la resistencia del concreto de relleno.

#### 4.1.1. MAMPOSTERÍA CLASE A

- Requiere bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión medida sobre el área neta a los 28 días de edad, no menor que 133 kg/cm<sup>2</sup> y con un mínimo para cada muestra individual de 120 kg/cm<sup>2</sup>.
- Requiere mortero tipo A, con una resistencia a la compresión medida en cubos a los 28 días de edad mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup>.
- Requiere concreto de relleno clase A, con una resistencia a la compresión mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup>.
- Es obligatoria para todas las construcciones con área mayor que 1000 m<sup>2</sup> y de 3 pisos de altura.
- Debe ser permanentemente inspeccionada por el profesional responsable de la inspección

#### 4.1.2. MAMPOSTERÍA CLASE B

- Requiere bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión, medida sobre el área neta a los 28 días de edad, no menor que  $90 \text{ kg/cm}^2$  y con un mínimo para cada muestra individual de  $80 \text{ kg/cm}^2$ .
- Requiere mortero tipo A o B, con una resistencia a la compresión medida en cubos y a los 28 días de edad mínima de  $175 \text{ kg/cm}^2$  y  $126 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Requiere concreto de relleno clase A o B, con una resistencia a la compresión mínima de  $175 \text{ kg/cm}^2$  y  $140 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Debe ser inspeccionada durante visitas periódicas del profesional responsable de la inspección.
- Los bloques, el mortero y el concreto de relleno deben ser como mínimo clase A o B.

#### 4.1.3. MAMPOSTERÍA CLASE C

- Requiere bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión, medida sobre el área neta a los 28 días de edad, no menor que  $75 \text{ kg/cm}^2$  y con un mínimo para cada muestra individual de  $70 \text{ kg/cm}^2$ .
- Requiere morteros tipo A, B o C, con una resistencia a la compresión medida en cubos y a los 28 días de edad mínima de  $175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $126 \text{ kg/cm}^2$  y  $53 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Requiere concreto de relleno clase A, B o C, con una resistencia a la compresión mínima de  $175 \text{ kg/cm}^2$ ,  $140 \text{ kg/cm}^2$  y  $120 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- Las pruebas de compresión de los bloques deben realizarse según INTE C50. Otras características de los bloques deben cumplir con la norma nacional INTE C90.
- Solo puede emplearse en elementos que no forman parte del sistema sismorresistente, por lo que no debe emplearse para la construcción de paredes de viviendas o de otros tipos de paredes estructurales.
- Puede ser construida con la sola inspección de un maestro de obras con experiencia y una visita corta semanal del profesional responsable

Tal como se indica en los comentarios del CSCR [5], en su sección CA.2, los valores recomendados en la tabla para  $f'_m$  corresponden a datos en la banda inferior obtenidos de las investigaciones de los ingenieros Navas [26], Rodríguez [27], Carvajal [28] y Cascante [29] en el LanammeUCR.

De forma paralela a la redacción de esta tesis, se realiza la revisión de la nueva edición del CSCR, en la cual, el capítulo de mampostería presentará una serie de modificaciones basadas en el planteamiento actual del TMS, entre las principales modificaciones destacan, la eliminación de las categorías A, B y C y la incorporación de valores mínimos de resistencia de la mampostería y sus componentes, sin embargo, aún no se cuenta con datos de resistencia  $f'_m$  a partir de las correlaciones de resistencia de los componentes de la mampostería.

## 4.2. CÓDIGO ESTADOUNIDENSE TMS 602/402

En esta sección se presenta las correlaciones desarrolladas por The Masonry Society, de aquí en adelante TMS, en el TMS 602/402 Requisitos y Especificaciones del Código de Construcción para Estructuras de Mampostería (Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures), para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  por el método de la unidad de mampostería.

El código TMS 402 [2], antes conocido también como ACI 530/530.1 o bien ASCE 6, indica en su sección 9.1.9.1.1 que la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  debe ser mayor o igual que 105 kg/cm<sup>2</sup> (10.3 MPa). También indica que los valores de  $f'_m$  utilizados para determinar la resistencia nominal según las ecuaciones del código no deben exceder 281 kg/cm<sup>2</sup> (27.6 MPa) para mampostería de concreto.

Por otro lado, la especificación del TMS 602 [2] en la sección 1.4.A indica que, la resistencia a la compresión de la mampostería debe ser igual o mayor que el valor especificado de  $f'_m$ , tanto en mampostería totalmente rellena como en parcialmente rellena. Y en su sección 1.4.B, plantea dos métodos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$ . Sin embargo, se debe tomar en cuenta que las condiciones de prácticas locales o sitios de construcción pueden favorecer un método sobre otro. Estos métodos se describen a continuación.

### 4.2.1. MÉTODO DE ENSAYO DE PRISMAS

El método de ensayo de prismas (prism test method) requiere equipos especializados de ensayo como máquinas universales, cuya disponibilidad es limitada, generalmente provee valores mayores que los que arroja el método de resistencia de la unidad de mampostería. Además, conlleva complejidad de transporte de los prismas elaborados en sitio, logística de programación de los ensayos en los laboratorios y el costo asociado a estas pruebas.

Según la sección 1.4.B.3 de la especificación del TMS 602 [2], este método fue seleccionado como un método estándar para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería y ser utilizado como una alternativa al método de resistencia de la unidad de mampostería.

El método consiste en determinar la resistencia a la compresión de la mampostería de concreto por medio de la construcción y ensayo de prismas de acuerdo con la norma ASTM C1314 [4] o bien, los prismas también pueden ser extraídos de una construcción existente de acuerdo con la norma ASTM C1532 [30] y ensayados de conformidad con ASTM C1314.

La norma ASTM C1314 [4] permite que se realicen las pruebas a los prismas de mampostería a los 28 días o a cualquier otra edad designada. Por lo tanto, se puede realizar la prueba en un periodo corto, como por ejemplo 7 días, para estimar la resistencia a los 28 días basándose en correlaciones previamente establecidas entre los resultados obtenidos en periodos cortos y los de resistencia a los 28 días. Los materiales y mano de obra de los prismas a ensayar deben ser representativos de las relaciones previamente establecidas.

Existen múltiples discusiones respecto a las pruebas de prismas de mampostería, sin embargo, la adopción de la norma ASTM C1314 [4] reduce las preocupaciones planteadas.

#### 4.2.2. MÉTODO DE RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA

El método de resistencia de la unidad (unit strength method) permite determinar el valor de  $f'_m$  mediante una tabla establecida a partir de la correlación estandarizada entre la resistencia a la compresión de la unidad de mampostería, el tipo de mortero y la resistencia a la compresión del conjunto.

La tabla 2 de la especificación TMS 402/602-2022 [2], en adelante **Tabla 3** en este documento, se puede utilizar para determinar la resistencia requerida para las unidades de mampostería y del mortero partiendo de una resistencia a la compresión de la mampostería especificada.

Esta tabla también se puede utilizar en el sentido inverso, para estimar o revisar el cumplimiento de una determinada resistencia a la compresión de la mampostería, a partir del tipo de mortero y de la resistencia a la compresión por área neta de la unidad que se utiliza, lo que puede ser muy útil para propósitos de inspección cuando se verifica el cumplimiento de la resistencia a la compresión mínima especificada de la mampostería,  $f'_m$ , cuando el tipo de mortero y la resistencia a la compresión de la unidad son conocidas.

Cabe destacar que los valores de esta tabla son estimaciones conservadoras de la resistencia a la compresión esperada de la mampostería colocada.

Además, se debe considerar que se requiere que la resistencia mínima a la compresión del concreto de relleno coincida con los valores de la resistencia a la compresión de la mampostería (primera columna) o con  $140.6 \text{ kg/cm}^2$  (13.79 MPa), el que sea mayor.

Este método tiene ventajas significativas ya que permite sustituir el método de ensayo de prismas, es más económico y elimina la posibilidad de datos poco representativos por errores en la construcción, ensayo de prismas y transporte.

Según la sección de especificaciones del TMS 402/602-2022 [2], en el apartado 1.4.B.2.b, la resistencia a la compresión de la mampostería basada en el método de la unidad de la mampostería se puede determinar a partir de la tabla 2 de la especificación siempre y cuando la mampostería cumpla con:

- Espesores de junta horizontal menores de 15.9 mm
- Unidades de mampostería que hayan sido seleccionadas y ensayadas según la norma ASTM C90 [14].
- El concreto de relleno debe cumplir con la norma ASTM C476 [17], no debe tener aditivos adicionados en campo cuando es una mezcla autocompactable y la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual que  $f'_m$  cuando  $f'_m$  es mayor que  $141 \text{ kg/cm}^2$  (13.79 MPa).

**Tabla 3.** Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado. TMS 402/602-2022

Resistencia a la compresión por área neta de la mampostería de concreto psi <sup>1</sup> (MPa)	Resistencia a la compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) psi (MPa)	
	Mortero tipo M o S	Mortero tipo N
1,750 (12.07)	---	2,000 (13.79)
2,000 (13.79)	2,000 (13.79)	2,650 (18.27)
2,250 (15.51)	2,600 (17.93)	3,400 (23.44)
2,500 (17.24)	3,250 (22.41)	4,350 (28.96)
2,750 (18.96)	3,900 (26.89)	---
3,000 (20.69)	4,500 (31.03)	---

<sup>1</sup> Para unidades de menos de 4 in. (102 mm) de altura, usar el 85 % del valor de la tabla.

**Fuente.** Adaptada de TMS 402/602-2022 [2]

Previo a la especificación del 2013, la correlación estandarizada entre la resistencia a la compresión de la unidad de mampostería, tipo de mortero y la resistencia a la compresión esperada de la mampostería fue establecida a partir de resultados de ensayos de prismas recolectados entre 1950 y 1980. El resultado fue una base de datos de resistencia a la compresión de prismas con alta variabilidad estadística, la cual, cuando se introdujo en la especificación condujo a valores de diseño de límite inferior, con valores bajos y muy conservadores.

Existen dos razones para este histórico conservacionismo inherente en la resistencia dada en la tabla.

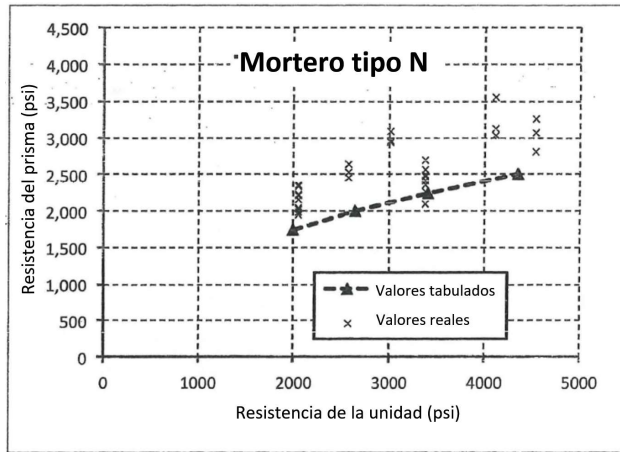
1. Cuando originalmente se introdujo, el procedimiento y equipo de ensayo utilizado para desarrollar el ensayo de prismas era considerablemente menos refinado que el que se utiliza hoy en día. Cambios incorporados a la norma ASTM C1314-16 [4], particularmente requisitos para la rigidez y espesor de las placas de carga del equipo llevaron a resultados de la resistencia a la compresión más consistentes y repetibles.
2. Los procedimientos de ensayo previos no controlaban la construcción, el curado y el ensayo de los prismas de mampostería, o permitían muchos procedimientos para hacerlo. Como resultado, para un mismo grupo de materiales se podían obtener resultados de ensayo de prismas con variaciones significativas, dependiendo de la forma en que los prismas fueran construidos, curados, y ensayados. A menudo, los prismas construidos y curados en campo dan resultados menores que los prismas construidos y curados en laboratorio.

Como consecuencia, los valores de resistencia a la compresión de prismas de mampostería de concreto usados para desarrollar el histórico de la tabla de resistencia de la unidad de mampostería no son directamente comparables con los obtenidas recientemente.

En el 2010, la Asociación Nacional de Mampostería de Concreto de Estados Unidos (National Concrete Masonry Association NCMA) inició una compilación de resultados de ensayos de prismas para crear una nueva base de datos que permitiera el desarrollo de una nueva tabla de resistencia de la unidad de mampostería de concreto que fuera representativa de los resultados obtenidos de ensayos recientes de prismas.

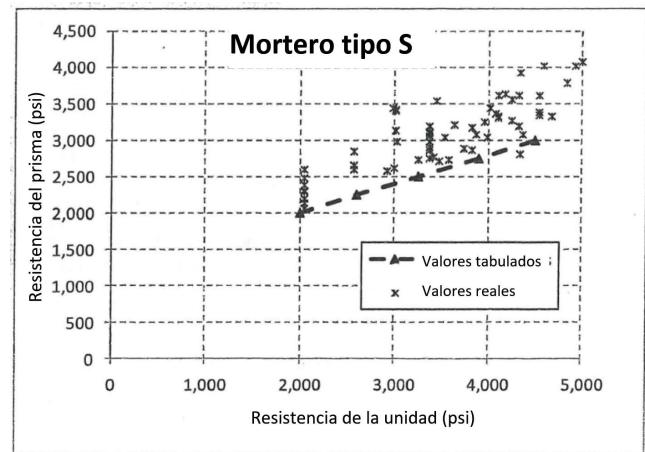
El método de resistencia de la unidad de mampostería de concreto fue generado utilizando los datos de ensayos de prismas que se muestran en la **Figura 11** y la **Figura 12**. Los valores de la tabla 2 de la

especificación del TMS 402/602-2022 [2] se basan en criterios estadísticos consistentes, con algunas modificaciones basadas en el criterio ingenieril.



**Figura 11.** Resistencia a la compresión de mampostería de concreto en función de la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería, para mortero tipo N

**Fuente.** Adaptado del TMS 402/602-2022 [2]



**Figura 12.** Resistencia a la compresión de mampostería de concreto en función de la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería, para mortero tipo S

**Fuente.** Adaptado del TMS 402/602-2022 [2]

Para cada resistencia de la unidad y tipo de morteros establecidos, los resultados de resistencia a la compresión esperada de la mampostería colocada se asumieron con una distribución normal. Utilizando los datos de NCMA [31] para cada resistencia de la unidad y tipo de mortero e incluyendo los efectos del tamaño del espécimen, se calculó el 75 % de confianza del percentil 10 de los valores, es decir, el valor que se esperaba que exceda el 10 % más bajo de toda la población el 75 % de las veces.

Tal como se detalla más adelante en la **sección 5.2.2**, Bennett [32] concluyó que este criterio brinda resultados que son razonablemente consistentes con otros códigos. La elección del valor percentil 10 da como resultado una probabilidad de aproximadamente 1 % de que el promedio de tres muestras de prismas sea menor que el valor tabulado.

Para un tipo de mortero y una resistencia de la unidad dada, la resistencia a la compresión esperada de la mampostería también depende de la altura de las unidades. La expansión lateral de la unidad debido a la incompatibilidad de la unidad y el mortero aumenta con la altura reducida de la unidad, tal como se detalla en Hamid y Drysdale [10]. Se requiere un factor de reducción en la resistencia a la compresión de la mampostería para mampostería construida con unidades de menos de 4 pulgadas de altura nominal, pero no es necesario aplicarla a la mampostería en la que las unidades ocasionales se cortan para ajustarse.

#### 4.2.3. VERSIONES ANTERIORES DE LA TABLA 2 DE LA ESPECIFICACIÓN TMS

- **2016 y 2022.** No presenta diferencias respecto a lo indicado en la versión de la especificación del 2013..
- **2013.** Utiliza la base de datos iniciada en el 2010 por el NCMA.

**Tabla 4.** Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado. TMS 402/602-2013

Resistencia a la compresión por área neta de la mampostería de concreto psi <sup>1</sup> (MPa)	Resistencia a la compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) psi (MPa)	
	Mortero tipo M o S	Mortero tipo N
1,700 (11.72)	---	1,900 (13.10)
1,900 (13.10)	1,900 (13.10)	2,350 (14.82)
2,000 (13.79)	2,000 (13.79)	2,650 (18.27)
2,250 (15.51)	2,600 (17.93)	3,400 (23.44)
2,500 (17.24)	3,250 (22.41)	4,350 (28.96)
2,750 (18.96)	3,900 (26.89)	---
3,000 (20.69)	4,500 (31.03)	---

<sup>1</sup> Para unidades de menos de 4 in. (102 mm) de altura, usar el 85 % del valor de la tabla.

**Fuente.** Adaptada de TMS 402/602-2013 [33]

- **2011 y 2008.** Utiliza una base de datos de 329 ensayos, recopilada entre 1950 y 1980. Esta base de datos posee altas variables estadísticas, introducir estos valores en la norma condujo a un límite inferior de diseño (conservador) relacionado con las unidades de mampostería, mortero y prismas.

**Tabla 5.** Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado. TMS 402/602-2011

Resistencia a la compresión por área neta de la mampostería de concreto psi <sup>1</sup> (MPa)	Resistencia a la compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) psi (MPa)	
	Mortero tipo M o S	Mortero tipo N
1,350 (9.31)	---	1,900 (13.10)
1,500 (10.34)	1,900 (13.10)	2,150 (14.82)
2,000 (13.79)	2,800 (19.31)	3,050 (21.03)
2,500 (17.24)	3,750 (25.86)	4,050 (27.92)
3,000 (20.69)	4,800 (33.10)	5,250 (36.20)

<sup>1</sup> Para unidades de menos de 4 in. (102 mm) de altura, usar el 85 % del valor de la tabla.

**Fuente.** Adaptada del TMS 402/602-2011 [34]

- **2005, 2002 y 1995.** Se fundamenta en los resultados recopilados entre 1950 y 1980. Esta base de datos posee altas variables estadísticas, introducir estos valores en la norma condujo a un límite inferior de diseño (conservador) relacionado a las unidades de mampostería, mortero y prismas.

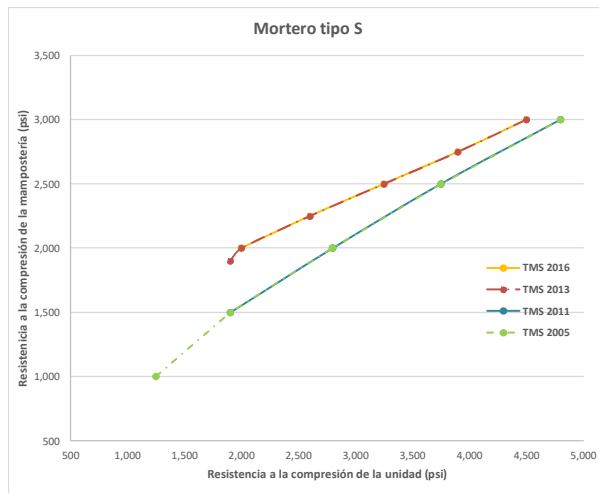
**Tabla 6.** Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado. TMS 402/602-2005

Resistencia a la compresión por área neta de la mampostería de concreto psi <sup>1</sup> (MPa)	Resistencia a la compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) psi (MPa)	
	Mortero tipo M o S	Mortero tipo N
1,000 (6.90)	1,250 (8.62)	1,300 (8.96)
1,500 (10.34)	1,900 (13.10)	2,150 (14.82)
2,000 (13.79)	2,800 (19.31)	3,050 (21.03)
2,500 (17.24)	3,750 (25.86)	4,050 (27.92)
3,000 (20.69)	4,800 (33.10)	5,250 (36.20)

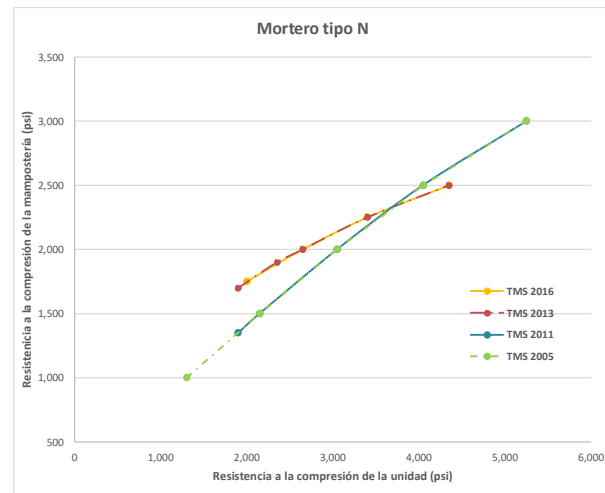
<sup>1</sup> Para unidades de menos de 4 in. (102 mm) de altura, usar el 85 % del valor de la tabla.

**Fuente.** Adaptada de TMS 402/602-2005 [35]

En la **Figura 13** y en la **Figura 14** se puede observar la variación de los valores tabulados a lo largo del tiempo para morteros tipo S y N, respectivamente. Se nota como en las últimas versiones se han adoptado valores más conservadores para altas resistencias de unidades de mampostería en combinación con el mortero tipo N. Se observa dos tendencias claras en los resultados tabulados, las cuales corresponden a las bases de datos analizadas: la primera recopilada entre 1950 y 1980 y la segunda a partir de 2010.



**Figura 13.** Variación de los valores tabulados para mortero tipo S



**Figura 14.** Variación de los valores tabulados para mortero tipo N

### 4.3. CÓDIGO NEOZELANDÉS NZS 4230-2004

En esta sección se presenta lo especificado en el código de diseño neozelandés NZS 4230-2004 Diseño de Estructuras de Mampostería de Concreto Reforzada (Design of reinforced concrete masonry structures) [36] para la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$ . Dado que clasifica la mampostería como A, B y C mantiene una relación más evidente con el actual CSCR 2010-14 [1]. Sin embargo, como se muestra a continuación, la clasificación neozelandesa responde principalmente al tipo de inspección y mano de obra que se da en la obra a diferencia del CSCR, donde la clasificación responde a criterios de resistencia, inspección y tamaño de la estructura.

El código de diseño neozelandés NZS 4223:2004 [36] en su sección 3.1 clasifica la mampostería de acuerdo con las siguientes 3 categorías de supervisión e inspección:

- **INSPECCIÓN TIPO A -  $f'_m > 122 \text{ kg/cm}^2$  (12 MPa).** Requiere inspección en todas las etapas críticas de la construcción por una persona aprobada por un ingeniero de diseño, que tenga el conocimiento y experiencia apropiada en prácticas correctas de construcción, para asegurar que los estándares de materiales y mano de obra que se aplican sean consistentemente de alta calidad acordes con el objetivo de alcanzar resistencias altas. Requiere de un albañil que cumpla con los requisitos de competencia del NZS 4210. Aplica para estructuras elásticas y estructuras dúctiles. Se requiere cuando el diseñador desea usar características especiales de construcción de mampostería excluidas en la NZS 4210. Por ejemplo, pretensado, placas de confinamiento y proyectos que requieren materiales de mayor resistencia y aseguramiento de calidad.
- **INSPECCIÓN TIPO B -  $f'_m \leq 122 \text{ kg/cm}^2$  (12 MPa).** Requiere de un ingeniero de diseño o un representante designado del mismo, que puede ser un albañil que cumpla con los requisitos de competencia del NZS 4210, dicha inspección debe garantizar que el diseño se interpreta correctamente y que el trabajo se lleva a cabo como se especifica. Aplica para estructuras elásticas y estructuras dúctiles. Se requiere en la mayoría de la mampostería estructural, incluida la mampostería construida de acuerdo con los requisitos de NZS 4229.
- **INSPECCIÓN TIPO C -  $f'_m \leq 41 \text{ kg/cm}^2$  (4 MPa).** Aplica para estructuras elásticas y para paredes con carga frontal diseñadas para una ductilidad limitada. Se requiere principalmente para mampostería construida de acuerdo con los requisitos de NZS 3604.

De acuerdo con su sección B1.3.1, la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$ , se calcula de acuerdo con la resistencia del concreto de relleno y de la unidad de mampostería a partir de las siguientes ecuaciones:

$$f'_m = f_m - 1.65x_m \quad \text{Ecuación 1}$$

$$f_m = 0.59\alpha f_{cb} + 0.90(1 - \alpha)f_g \quad \text{Ecuación 2}$$

$$x_m = \sqrt{0.35\alpha^2 x_{cb}^2 + 0.81(1 - \alpha)^2 x_g^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $\alpha$  razón de área neta y área bruta
- $f_{cb}$  resistencia de la unidad de mampostería
- $x_{cb}$  desviación estándar de la unidad de mampostería, calculada de acuerdo con AS/NZS 4456
- $f_g$  resistencia del concreto de relleno
- $x_g$  desviación estándar del concreto de relleno, calculada de acuerdo con NZS 3112

## 5. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES (ESTADO DEL ARTE)

A continuación, se sintetizan las características y conclusiones de investigaciones experimentales nacionales e internacionales referentes a la resistencia de la mampostería.

### 5.1. INVESTIGACIONES EN COSTA RICA

La **Figura 15** muestra una línea de tiempo de las principales investigaciones y estudios experimentales y analíticos relacionados con la medición de la resistencia de la mampostería de concreto.



**Figura 15.** Línea de tiempo de investigaciones en Costa Rica

En las siguientes secciones, se detalla de manera resumida algunas de estas investigaciones.

#### 5.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO

Esta investigación de Navas [26] se realizó en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR). A continuación, se describen las características más relevantes de la investigación:

- Se realizaron 2 premuestras de prismas de bloques ensayados a compresión con una desviación estándar de promedio aritmético de  $12.75 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se utilizaron 10 especímenes para cada prueba, con un intervalo del 95 % de confianza, y un error del 8 %. Sin embargo, por la alta variabilidad de la mampostería se podían esperar errores de hasta un 20 % (dentro de un intervalo del 95 % de confianza).
- Se utilizaron bloques de  $12 \times 20 \times 40 \text{ cm}$ , por ser el elemento constructivo de mayor uso en el país. Se escogieron bloques de 3 fuentes diferentes, los bloques utilizados mostraban 3 rangos de resistencia: superior, similar e inferior a  $45 \text{ kg/cm}^2$  (por área bruta).

- Los bloques se cortaron con un proceso húmedo de corte con disco diamantado y guía.
- Se fallaron 90 prismas sin relleno a compresión. Cada prisma se construyó con 2 mitades de bloques y un bloque entero al centro. Medían 40 cm de altura, 12 cm de ancho y 40 cm de largo; obteniéndose así una relación altura / ancho de 3.3.
- Se fabricaron 10 prismas para cada combinación de bloques (A, B, y C) y morteros (M, S, y N).
- Los prismas se curaron a la sombra, cubiertos por 21 días con plásticos y se les aplicó agua dos veces al día. De esta forma se aseguró que los especímenes siempre estuvieran húmedos.

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes de la investigación:

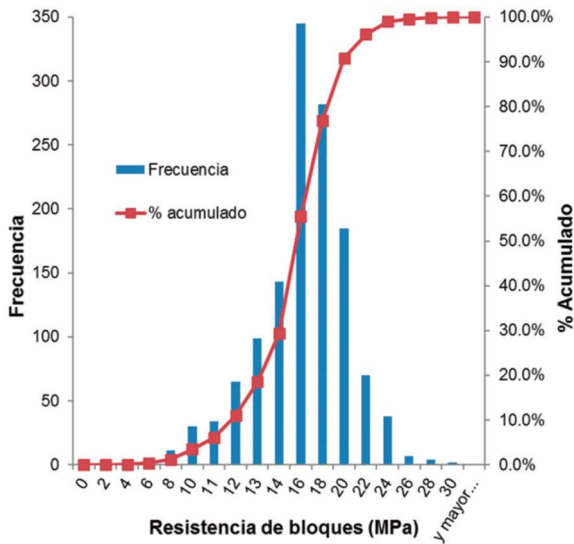
- A menor resistencia de los morteros, se obtuvo menor resistencia de los prismas, debido a que los morteros se expanden más (por tener menor módulo de elasticidad que los bloques) e inducen mayores esfuerzos de tracción en la interface de contacto.
- A medida que aumentó la resistencia de los bloques, también aumentó la resistencia a la compresión de la mampostería. Para resistencias bajas de bloques la resistencia del mortero tuvo menor importancia.
- **PRISMAS CON BLOQUES DE ALTA RESISTENCIA** (166 kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia promedio en compresión  $f'_m$  de los prismas con mortero tipo M fue de 13 % y de 62 % mayor que con morteros tipo S y N respectivamente.
- **PRISMAS CON BLOQUES DE MEDIANA RESISTENCIA** (76 kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia promedio a la compresión  $f'_m$  de los prismas con mortero tipo M y S fue igual y 15.6 % superior que con morteros tipo N.
- **PRISMAS CON BLOQUES DE BAJA RESISTENCIA** (61 kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia promedio a la compresión  $f'_m$  de los prismas con mortero M, S y N fueron prácticamente iguales.

### 5.1.2. RESISTENCIA DE BLOQUES Y PRISMAS DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO EN COSTA RICA

En esta investigación San José Costa Rica de Abarca y González [37] se analizan resultados experimentales de pruebas de compresión de 1320 especímenes de bloques de concreto y 386 prismas de mampostería obtenidas de la base de datos del LanammeUCR para examinar su resistencia y cumplimiento con respecto a la normativa costarricense vigente.

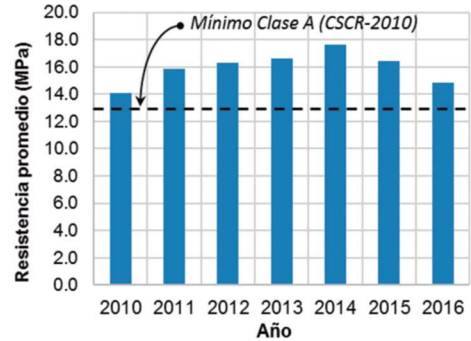
Se determina que el mercado de producción de bloques ha evolucionado desde la implementación de la normativa vigente y que poco más del 90 % de los bloques producidos en el país actualmente cumplen con la clasificación de Clase A indicada en el [5].

Con el fin de evaluar la dispersión de los datos, la **Figura 16** muestra un histograma de la totalidad de los especímenes estudiados.



**Figura 16.** Histograma de valores de resistencia de bloques

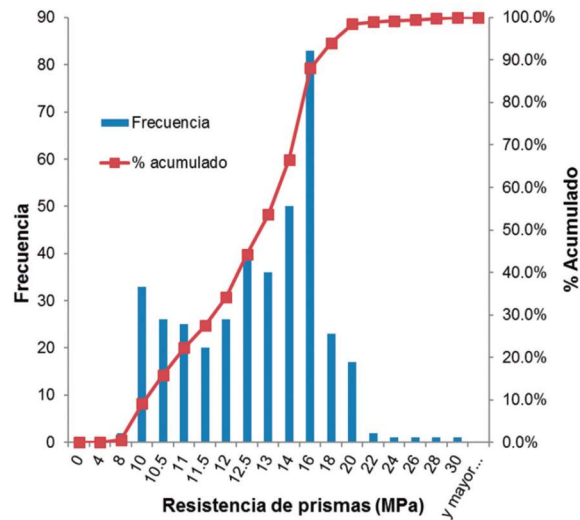
Fuente. Abarca y González [37]



**Figura 17.** Promedios anuales de resistencia a la compresión de bloques

Fuente. Abarca y González [37]

Se puede observar en la **Figura 17**, que cada una de las resistencias promedio anuales de bloques se encuentran por encima del límite de 13.0 MPa establecido para los bloques Clase A indicados en el CSCR-2010. Al igual que con los datos de resistencia de bloques, la **Figura 18** muestra un histograma de la totalidad de los especímenes de prismas considerados, en donde se puede observar que aproximadamente el 90 % de la totalidad de la base de datos de prismas de mampostería posee una resistencia igual o superior a la recomendada por el CSCR [5] para mampostería Clase A (9.8 MPa).

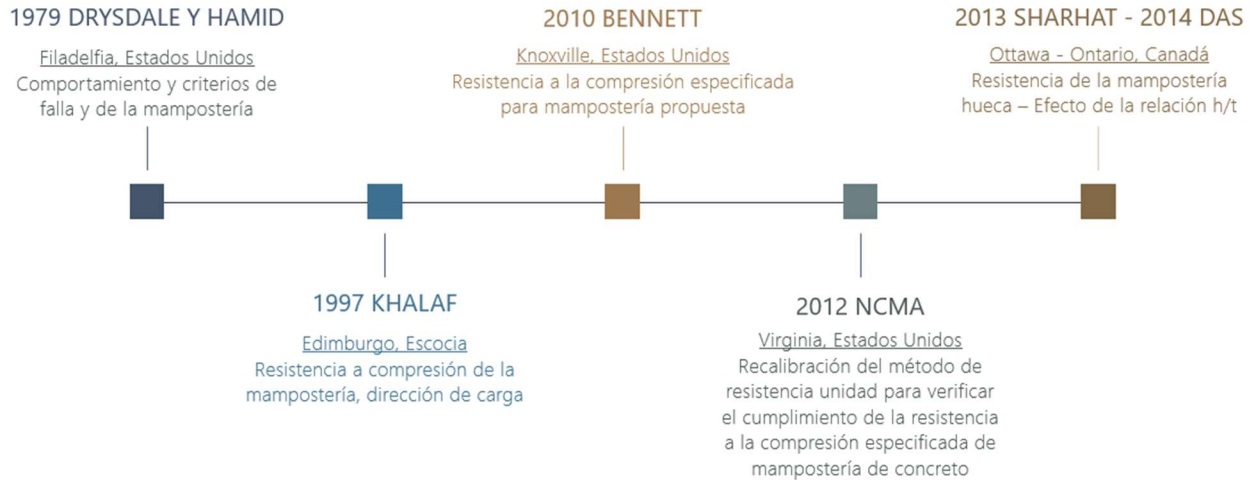


**Figura 18.** Histograma de valores de resistencia de prismas de mampostería.

Fuente. Abarca y González [37].

## 5.2. INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

La **Figura 19** muestra una línea de tiempo de las principales investigaciones y estudios experimentales y analíticos relacionados con la medición de la resistencia de la mampostería de concreto.



**Figura 19.** Línea de tiempo de investigaciones internacionales

En las siguientes secciones, se detalla de manera resumida algunas de estas investigaciones.

### 5.2.1. RECALIBRACIÓN DEL MÉTODO DE RESISTENCIA DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECIFICADA DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO – VIRGINIA, ESTADOS UNIDOS

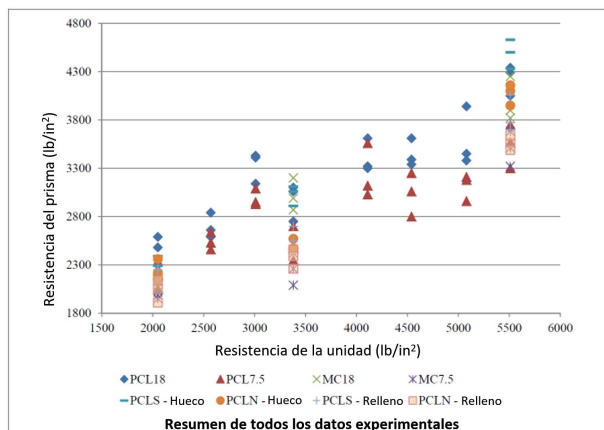
Este proyecto de la National Concrete Masonry Association (NCMA) [38] se enfocó únicamente en evaluar la correlación entre la resistencia a la compresión de unidades de mampostería de concreto y la resistencia a la compresión resultante de prismas huecos de mampostería de concreto y construidos con morteros de diferentes proporciones y tipos de cemento. A continuación, se describen las características más relevantes de la investigación:

- **TAMAÑO DE MUESTRA.** En total, se construyeron y ensayaron 34 conjuntos de prismas; cada conjunto compuesto de 3 prismas, se probaron un total de 102 prismas individuales. Adicionalmente se incluyeron los resultados de 41 proyectos del NCMA entre el 2004 y el 2010, que cumplían con las pruebas de esta investigación, sin embargo, no se indica en el informe el número de prismas equivalente a los 41 proyectos.
- **UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.** Se analizaron 8 resistencias de unidades de mampostería. Todas las unidades de mampostería de concreto utilizadas tenían una configuración nominal de 20.3 x 20.3 x 40.6 cm (8 x 8 x 16 pulgadas). Se ensayó una muestra representativa de cada conjunto para determinar la resistencia a la compresión, absorción, densidad y tolerancias dimensionales siguiendo los procedimientos de ASTM C140-11. Para cada resistencia se ensayaron 3 especímenes adicionales cortados al tamaño final del prisma.
- **MORTERO.** Se analizaron únicamente morteros tipo S y N, para 8 resistencias en total, 6 con cemento portland y 2 con cemento para mampostería. Se verificó el cumplimiento del fabricante

de las propiedades de los materiales constituyentes del mortero: cemento portland utilizado con la norma ASTM C150 / C150-11, cal hidratada según ASTM C207-11 y la arena con los requisitos de ASTM C144-11. Se ensayaron los morteros para el cumplimiento de acuerdo con ASTM C270-10 y ASTM C780-11. Una de las 8 mezclas tenía una resistencia ligeramente menor a los 28 días que la establecida en la norma C270-10. Sin embargo, se decidió continuar con el ensayo de los prismas construidos con este mortero, considerando que la resistencia a la compresión resultante de los prismas brindaba resultados conservadores.

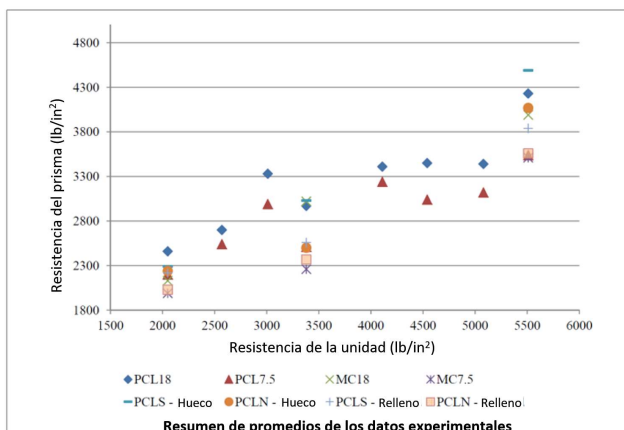
- **CONCRETO DE RELLENO.** La mayoría de los prismas probados eran huecos, solo algunos especímenes fueron rellenos como un medio de verificar la influencia del concreto de relleno sobre la resistencia del prisma. El concreto de relleno utilizado fue diseñado para tener una resistencia a la compresión de 28 días cerca de la resistencia a la compresión de las unidades con la que se construyó cada tipo de prisma. Se cumplió con la norma ASTM C476-10 y con ASTM C1019-11.
- **PRISMAS.** Todas las unidades de mampostería de concreto se redujeron en longitud con dimensiones aproximadas de 20.3 cm de ancho, 40.6 cm de alto y 21.6 cm de longitud. Cada prisma fue construido usando dos unidades y una junta de mortero. Todos los prismas fueron construidos de acuerdo con ASTM C1314-11. Cada conjunto de prismas para un tipo mortero se construyó el mismo día a partir de una sola batida de mortero. Inmediatamente después de la construcción, cada prisma se selló en una bolsa de plástico. En el caso de los prismas rellenos, las bolsas fueron retiradas un día después de la construcción para la colocación del concreto de relleno en una sola capa y se consolidó con un vibrador de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  de pulgada); se detalló al ras en la parte superior del prisma y se reemplazaron las bolsas. Antes de la prueba, los prismas se coronaron con una mezcla de yeso de alta resistencia y se fallaron después de al menos 28 días de acuerdo con ASTM C1314-11.
- **ESTADÍSTICA.** Cada rango de conjunto de datos se analizó estadísticamente para un intervalo de confianza del 95 %. Debido al pequeño tamaño de muestra en cada grupo ( $N < 30$ ), se utilizó una distribución de serie T para el análisis posterior, que toma en cuenta el número de puntos de datos en el rango.

Como conclusión de la investigación plantearon que la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto varió de aproximadamente 141 kg/cm<sup>2</sup> (13.8 MPa) a poco más de 386 kg/cm<sup>2</sup> (37.9 MPa), tal como se aprecia en la **Figura 20** y en la **Figura 21**. Aunque la densidad no se consideró una variable influyente en las conclusiones de esta investigación, los especímenes de prueba se construyeron de peso ligero, peso medio y unidades de peso normal con densidades que varían desde 1602 kg/m<sup>3</sup> a 2203 kg/m<sup>3</sup> para capturar el rango más amplio posible de propiedades intrínsecas de la unidad.



**Figura 20.** Análisis de resultados – Total

**Fuente.** Adaptado del NCMA [38]



**Figura 21.** Análisis de resultados – Promedio

**Fuente.** Adaptado del NCMA [38]

Originalmente se intentó analizar los datos de resistencia de prismas combinando el mortero Tipo S y el Tipo N en un único conjunto de datos con la esperanza de que la relación tipo de mortero/resistencia a la compresión tuviera una influencia insignificante. Sin embargo, esta suposición solo demostró ser válida para resistencias a la compresión de la unidad relativamente bajas.

Dado que el mortero Tipo M se especifica en aplicaciones donde las circunstancias justifican su uso, los resultados de los prismas con mortero tipo S se consideran conservadores cuando se aplica a prismas similares construidos con mortero tipo M.

Inicialmente, se quería generar una ecuación, que correlacionara la resistencia del bloque con la del prisma, pero este objetivo se descartó al comprender la influencia del mortero en la resistencia del prisma, por lo tanto, los esfuerzos se centraron en desarrollar relaciones para subconjuntos específicos de propiedades para morteros de Tipo S y Tipo N. Sin embargo, cabe destacar que en algunos casos si se pudo obtener una correlación razonable, por ejemplo, considerando únicamente los resultados de prismas con mortero tipo S, la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia esperada del prisma} \left( \frac{lb}{in^2} \right) = \frac{\text{Resistencia a la compresión de la unidad}}{2} + 1000 \quad \text{Ecuación 4}$$

La resistencia del mortero comienza a afectar la resistencia a la compresión del prisma a medida que aumenta la razón entre la resistencia a la compresión de la unidad de mampostería y la resistencia del mortero.

Las unidades de mayor resistencia a la compresión producen prismas de mayor resistencia a la compresión para ambos tipos de mortero.

La observación más significativa de esta investigación es lo que representa un límite inferior estadístico para la resistencia a la compresión de la mampostería de concreto. Aunque históricamente la resistencia a la compresión especificada por defecto se había centrado en 105 kg/cm<sup>2</sup> (10.3 MPa), esta investigación muestra que la combinación más débil de la resistencia de la unidad permitida y el tipo de mortero puede producir fácilmente una resistencia de compresión de 140 kg/cm<sup>2</sup> (13.7 MPa).

## 5.2.2. PROPUESTA PARA LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECIFICADA DE LA MAMPOSTERÍA – KNOXVILLE ESTADOS UNIDOS

Este artículo de Bennet [32] hace un resumen de los requerimientos dados por varios códigos y especificaciones, y examina la base estadística utilizada para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería, tomando en cuenta los efectos del tamaño de las muestras. Al final del artículo se da una serie de recomendaciones para determinar la resistencia a la compresión a especificar ( $f'_m$ ).

A continuación, se presenta un resumen de lo indicado por varios códigos y especificaciones al respecto de este tema:

- **TMS.** Da una serie de lineamientos a seguir en torno a la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería, sin embargo, no indica el número de prismas a ser ensayados, ni cómo utilizar los resultados de estos ensayos para determinar la resistencia a la compresión que debe especificarse.
- **UNIFORM BUILDING CODE 1997.** Este código requiere que el valor de  $f'_m$  se determine basándose en por lo menos 30 ensayos realizados a prismas de mampostería. El valor de  $f'_m$  se define como el 75 % de la resistencia media obtenida de los ensayos.
- **CÓDIGO DE MAMPOSTERÍA CANADIENSE S304.1-04 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.** En este se indica que se deben tener 5 ensayos a prismas de mampostería. El valor de la resistencia a la compresión del prisma se define como la resistencia promedio menos 1.5 veces la desviación estándar. Además, se solicita que se ensayen 10 prismas en caso de que el valor del coeficiente de variación (el cociente de la desviación estándar entre la media) de los primeros cinco ensayos supere el 15 %.
- **CÓDIGO AUSTRALIANO DE MAMPOSTERÍA, ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA, AS 3700-2001.** Este código utiliza un factor denominado  $k_k$  para tomar en cuenta el tamaño de muestras pequeñas. Este factor da una confianza del 75 % para el percentil 5 asumiendo una distribución tipo Weibull.
- **ACI 318-08.** Este código da una ecuación para determinar el valor de la resistencia a la compresión del concreto estructural ( $f'_c$ ), en función de la desviación estándar y un valor multiplicador adicional para esta dependiendo del tamaño de la muestra. Dicho valor multiplicador es dado por una tabla según el tamaño de la muestra. El comentario del código agrega que hay una probabilidad cercana a 1 de cada 100 de que el promedio de tres ensayos consecutivos de valores esté por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

En los métodos de los códigos y especificaciones analizadas, la selección del límite de confianza y del valor del percentil a utilizar son arbitrarios, pero es recomendable que estos valores tengan consistencia con los valores utilizados por otros códigos; por lo que se propone que el valor de la resistencia a la compresión a especificar sea el percentil 10 con el 75 % de confianza basado en una distribución normal.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que las diferencias más grandes entre los métodos estudiados en el artículo se dan para las muestras más pequeñas, por lo que se recomienda que las muestras sean de al menos 10 ensayos.

Se propone que la cantidad de ensayos a realizar quede predeterminada, y así se pueda presentar una tabla en la que para cierta cantidad de ensayos se indique la ecuación a utilizar para determinar la resistencia media que se debe obtener de los ensayos en función de la resistencia especificada y de la desviación estándar.

### 5.2.3. COMPORTAMIENTO A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE CONCRETOS DE MAMPOSTERÍA – PHILADELPHIA ESTADOS UNIDOS

Esta investigación Hamid y Chukwunenye [39] analítica se realizó usando un elemento finito tridimensional para estudiar el comportamiento complejo de prismas de bloques huecos bajo compresión axial. Se determinaron distribuciones de tensión en diferentes direcciones que ayudan a comprender el comportamiento compuesto y el mecanismo de falla tanto de la cubierta frontal como de los prismas con mortero en toda la junta. Se estudiaron los efectos del tipo de colocación de mortero, las características de deformación del mortero, el tamaño del bloque, la relación altura-ancho, el número de juntas de mortero y la rigidez de las placas de apoyo sobre el comportamiento de los prismas cargados axialmente

Entre sus principales conclusiones se tiene que:

- La relación altura-ancho tiene una influencia significativa en el comportamiento de los prismas de mampostería
- Descontinuar la práctica común de usar prismas de mampostería de concreto con  $h/t = 2.0$  y una junta horizontal.
- Usar prismas con un número de juntas horizontales mayor o igual que dos para determinar la resistencia a la compresión de los prismas de mampostería de concreto.
- Especificar un prisma con  $h/t = 2,0$  y dos juntas horizontales (usando medio bloque en la parte superior e inferior) como el prisma estándar para determinar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de la mampostería.
- Las disposiciones de la norma ASTM E 447-74 sobre la selección de las placas de soporte dio como resultado un espesor de placa que se observó que induce grandes tensiones de tracción en el bloque superior que pueden causar una falla prematura. Por lo tanto, se recomienda usar placas de acero gruesas, mínimo de 4 pulg, para probar prismas construidos con bloques huecos de 8 pulgadas nominales.

## **ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 6. ESTUDIO EXPERIMENTAL

---

Los ensayos experimentales que fundamentan esta investigación se realizaron en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), en el Laboratorio de Estructuras y el Laboratorio de Concretos.

### 6.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

A continuación, se describen las principales características del programa experimental.

#### 6.1.1. TAMAÑO DE MUESTRA

- En total, se construyeron y ensayaron 36 grupos de prismas, cada grupo compuesto de 3 prismas, para un tamaño de muestra total de 108 prismas individuales, más 9 prismas extra de prueba, para un total de 117 prismas de ensayo.
- Cada grupo de prismas corresponde a una combinación dada de variables, y fueron identificados de acuerdo con la resistencia de la unidad de mampostería, tamaño del bloque, tipo de mortero de pega y condición de relleno. Por ejemplo, los prismas 133-12-S-G, corresponden a prismas elaborados con bloques con una resistencia esperada de 133 kg/cm<sup>2</sup>, con ancho nominal de 12 cm, con mortero tipo S y rellenos. En la sección 6.3 se detalla cada grupo de primas en el diagrama del programa experimental.
- Para definir el tamaño de muestra y sus características se tomó como base el estudio de NCMA [38].

#### 6.1.2. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.

- Previo al análisis de prismas objeto de esta investigación, para determinar que la resistencia a la compresión de los bloques del estudio fuera representativa del mercado nacional, se desarrolló un análisis de la base de datos del Lanamme de 1404 ensayos de resistencia a la compresión realizados desde el 2010 hasta el 2017. El resultado de este análisis, considerando únicamente los ensayos realizados a los 28 días, arrojó 3 valores de resistencia a la compresión de bloques de 133 kg/cm<sup>2</sup>, 160 kg/cm<sup>2</sup> y 190 kg/cm<sup>2</sup>. Como complemento a este análisis se tiene el publicado por Abarca y González [37]
- Se analizaron 3 resistencias esperadas de unidades de mampostería de 133 kg/cm<sup>2</sup>, 160 kg/cm<sup>2</sup> y 190 kg/cm<sup>2</sup> y 3 anchos nominales de bloque de 12 cm, 15 cm y 20 cm. Todas las unidades de mampostería de concreto utilizadas tenían una configuración nominal de 20 cm de alto por 40 cm de largo. En la **Figura 23** se pueden observar el marcado de los boques por resistencia para su adecuada identificación.
- Se coordinó con el fabricante las resistencias requeridas y los tiempos de producción de los bloques utilizados en esta investigación, todo el proceso fue inspeccionado en fábrica, sin embargo, el diseño de mezcla fue realizado por el fabricante. En la **Figura 24** se puede observar el proceso de fabricación en fábrica.

- Se ensayó una muestra representativa de cada tipo para determinar la resistencia a la compresión, absorción, densidad y tolerancias dimensionales siguiendo los procedimientos de ASTM C140-17 [8]. Para cada resistencia se ensayaron 3 unidades completas y se promedió la resistencia obtenida. En la **Figura 22** se pueden observar los bloques coronados y listos para ser ensayados.



**Figura 22.** Bloques preparados para ensayo



**Figura 23.** Curado de bloques de la investigación



**Figura 24.** Proceso de fabricación de los bloques de la investigación

### 6.1.3. MORTERO

- Se utilizaron únicamente morteros tipo S y N, preempacados con cemento portland de un mismo fabricante. Se prepararon mezclas de mortero cada día de fabricación de prismas, dando un total de 3 resistencias experimentales tipo N y 3 tipo S, una por set de prismas. Se ensayaron 5 de los morteros para el cumplimiento de acuerdo con ASTM C270-10 [21] y ASTM C780-11 [25]. En la **Figura 25**, **Figura 26**, **Figura 27** y **Figura 28** se puede observar partes del proceso de mezclado, colocación y preparación de los cubos de ensayo del mortero.



**Figura 25.** Preparación del mortero



**Figura 26.** Colocación de mortero en prismas



**Figura 27.** Elaboración de los cubos



**Figura 28.** Cubos de mortero en cámara húmeda  
Nota. Código de color por grupo de prismas

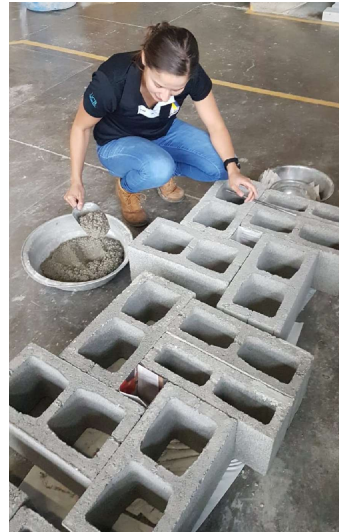
#### 6.1.4. CONCRETO DE RELLENO

- La mitad de la muestra total de prismas se rellenaron con concreto de relleno, para medir la influencia del concreto de relleno sobre la resistencia del prisma. Los prismas se rellenaron el mismo día, tras haber transcurrido 4 horas luego de la fabricación del prisma.
- Se utilizaron 2 resistencias de concreto de relleno para mampostería, ambas mezclas preempacadas y de un mismo fabricante, con resistencias esperadas especificadas por el fabricante de 168 kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- El objetivo de utilizar dos resistencias de concreto de relleno es lograr el cumplimiento de lo indicado en la sección 2.2.B de la especificación TMS 602 y en la sección 9.1.9.1.2 del código TMS 402, que indica que cuando  $f'_m$  es mayor que 140 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia en compresión del concreto de relleno debe ser mayor o igual que  $f'_m$ . [2]

- Se verificó el cumplimiento con la norma ASTM C476-18 [17] y con ASTM C1019-18 [19]. Se puede observar en la **Figura 29**, **Figura 30** y **Figura 31** el proceso de ensayo de asentamiento y la elaboración de los prismas de concreto de relleno para ser ensayados.



**Figura 29.** Revisión de revenimiento



**Figura 30.** Elaboración de los prismas de concreto de relleno



**Figura 31.** Prismas de concreto de relleno

Nota. Código de color para cada grupo de prismas según tipo de bloque y mortero

### 6.1.5. PRISMAS

- Todas las unidades de mampostería de concreto se redujeron en longitud con dimensiones nominales de 20 cm de ancho, 40 cm de alto y 21 cm de longitud. Cada prisma fue construido usando dos unidades y una junta de mortero. Todos los prismas fueron construidos de acuerdo con ASTM C1314-16 [4].
- Cada grupo de prismas para un tipo mortero se construyó el mismo día a partir de una sola batida de mortero, dentro de una bolsa plástica. Inmediatamente después de la construcción de cada prisma, se selló la bolsa de plástico. En el caso de los prismas rellenos, las bolsas fueron abiertas un día después de la construcción para la colocación del concreto de relleno en una sola capa y se consolidó con un vibrador de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  de pulgada); se enrasó en la parte superior del prisma y se cerraron las bolsas acuerdo con ASTM C1314-16 [4]. Como se puede observar en la **Figura 32**, **Figura 33**, **Figura 34** y **Figura 35**.

- Antes de la prueba, los prismas se coronaron con una mezcla con cemento de grano ultrafino y yeso y se fallaron a los 28 días de acuerdo con ASTM C1314-16 [4]. Como se puede observar en la **Figura 36** y **Figura 37**.
- La **Tabla 7** resume el tamaño de la muestra, cantidad total de bloques y la cantidad de prismas que se elaboraron por batida de mortero.

**Tabla 7.** Tamaño de la muestra

TOTAL DE BLOQUES	450
TOTAL DE PRISMAS	108
PRISMAS POR BATIDA	18

**Nota.** 9 prismas adicionales de prueba (**Total de prismas 117**)



**Figura 32.** Colocación de mortero de pega



**Figura 33.** Nivelación de prismas



**Figura 34.** Colocación de concreto de relleno



**Figura 35.** Finalización y cierre de bolsas



**Figura 36.** Prismas curados por 28 días antes de coronar

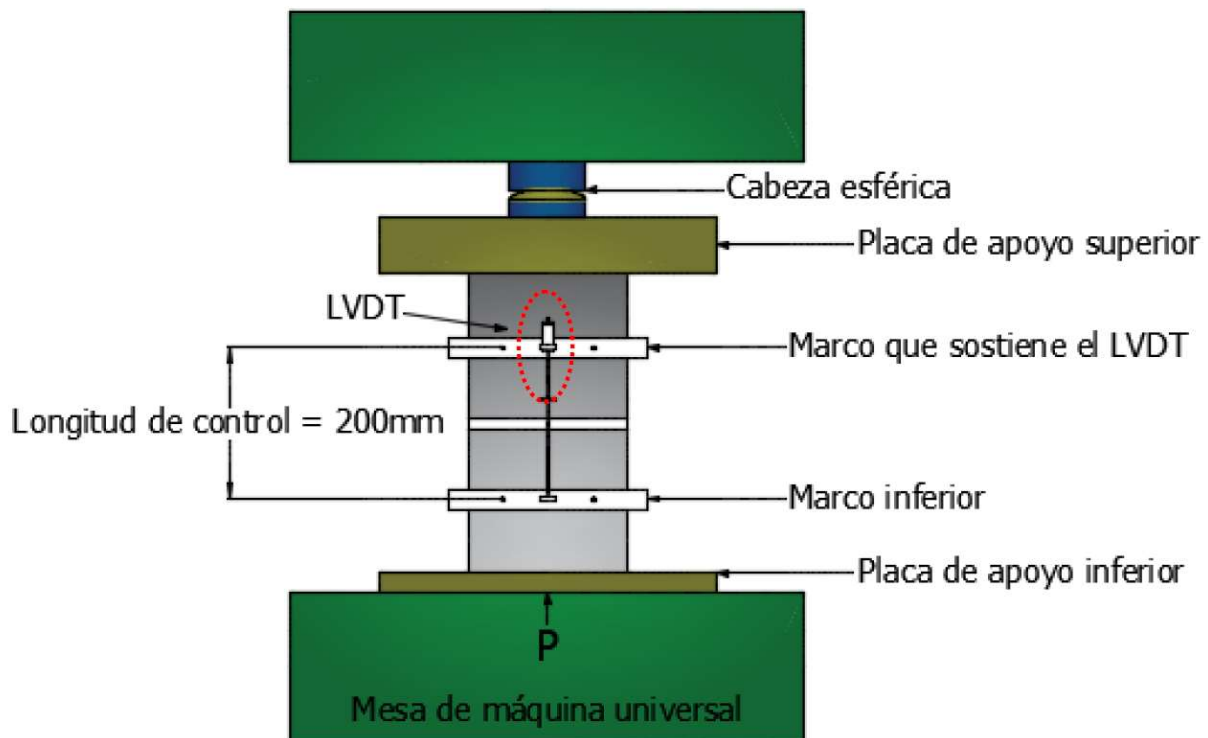


**Figura 37.** Prismas coronados para ensayo

Nota. Código de color según tipo de bloque y mortero

#### 6.1.6. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS

- Los lineamientos de protocolo de carga y equipos se realizaron de acuerdo con la norma ASTM C1314-16. Para la medición de las deformaciones se le dio continuidad al procedimiento implementado por Núñez [40] y Vaca [41]. En la **Figura 38** se muestra un esquema del equipo de ensayo empleado.



**Figura 38.** Esquema del montaje experimental utilizado

Fuente. Núñez [40]

## 6.2. TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES

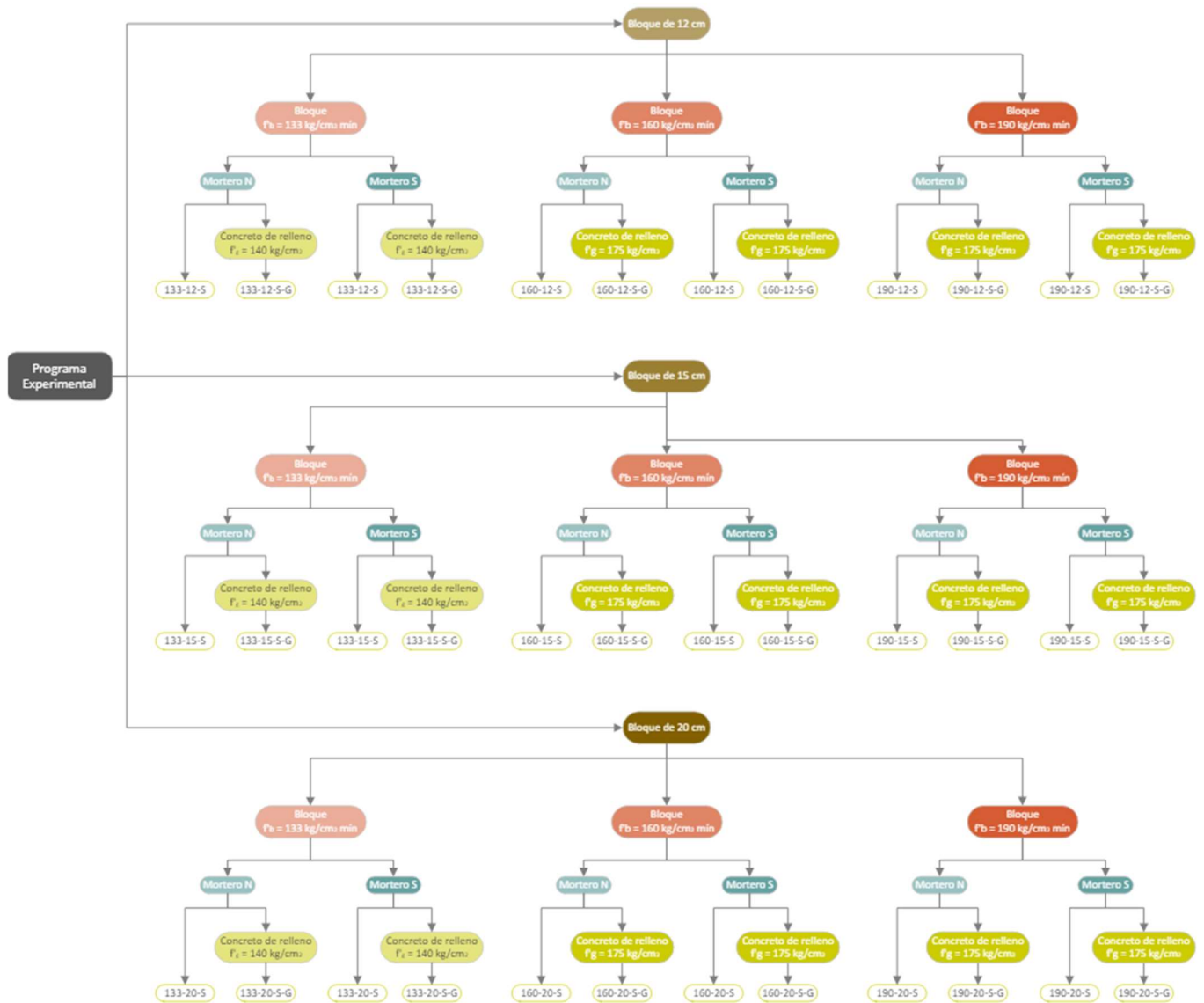
La **Tabla 8** presenta un resumen de las variables presentes en la investigación y el tratamiento dado.

**Tabla 8.** Resumen del manejo de las variables que intervienen en la investigación

VARIABLE ANALIZADA			TRATAMIENTO DE LA VARIABLE
<b>MORTERO</b>	<i>Tipos de mortero</i>	Sí	<u>2 resistencias, S y N de un solo fabricante</u> <u>3 batidas para cada tipo de mortero (6 batidas en total)</u>
	<i>Resistencia del bloque</i>	Sí	<u>3 resistencias, 133 kg/cm<sup>2</sup>, 160 kg/cm<sup>2</sup> y 190 kg/cm<sup>2</sup> de un solo fabricante</u> 3 lotes para cada resistencia (9 lotes en total) Basado en el estudio realizado con datos del 2010 -2016 del LanammeUCR por Abarca y González [37]
<b>UNIDAD DE MAMPOSTERÍA</b>	<i>Tamaño del bloque</i>	Sí	<u>3 anchos, 12 cm, 15 cm y 20 cm</u>
	<i>Densidad del bloque</i>	No	<u>1 solo fabricante</u> <u>Bloques de la misma batida para cada resistencia y tamaño</u> En investigaciones previas no se considera una variable influyente [38], [32]
	<i>Absorción del bloque</i>	No	<u>1 solo fabricante</u> <u>Bloques de la misma batida para cada resistencia y tamaño</u>
	<i>Módulo de elasticidad del bloque</i>	No	<u>1 solo fabricante</u> <u>Bloques del mismo lote para cada resistencia y tamaño</u>
<b>CONCRETO DE RELLENO</b>	<i>Concreto de relleno</i>	Sí	<u>Se ensayaron prismas huecos y rellenos en el análisis</u>
	<i>Resistencia del concreto de relleno</i>	Sí	<u>2 resistencias</u> Se considera que $f'_g \geq f'_m$ cuando $f'_m$ es mayor que 141 kg/cm <sup>2</sup> (13.79 MPa) según TMS 602-16 en su sección 1.4.B.2.b
	<i>Módulo de elasticidad del concreto de relleno</i>	No	<u>1 solo fabricante</u> <u>Bloques de la misma batida para cada resistencia y tamaño</u>
<b>PRISMA</b>	<i>Tamaño de la muestra</i>	Sí	<u>3 prismas por grupo [4]</u> En investigaciones previas se debate que para obtener un promedio estadístico válido se deberían elaborar 10 prismas para cada tipo de mortero y bloque [32]
	<i>Cantidad de uniones</i>	No	<u>1 junta horizontal entre dos bloques</u> Se recomienda el uso de prismas de longitud reducida para evitar el efecto de deflexión durante el ensayo y obtener una mejor representación de la resistencia. Además, simplifica el transporte y coronamiento [4]
	<i>Edad del espécimen</i>	No	<u>Todos los prismas se fallaron a 28 días</u> En investigaciones previas se determinó que los prismas huecos no tienen aumento de resistencia luego de los 80 días, a diferencia de los prismas rellenos que mantienen la ganancia de resistencia con el tiempo [42]

### 6.3. DIAGRAMA DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL

La **Figura 39** presenta un diagrama del tratamiento dado a las variables analizadas para la medición de la resistencia a la mampostería. Se consideraron 3 anchos de bloque, de 12 cm, 15 cm y 20 cm. Cada ancho de bloque se fabricó para desarrollar resistencias esperadas de a 133 kg/cm<sup>2</sup>, a 160 kg/cm<sup>2</sup> y 190 kg/cm<sup>2</sup>. Los prismas de cada una de estas combinaciones de ancho de bloque y resistencia se construyeron con 2 tipos de morteros, mortero tipo S y mortero tipo N. Por último, la mitad de los prismas se rellenaron, para lo cual se utilizaron 2 resistencias estimadas de concreto de relleno, de 140 kg/cm<sup>2</sup> y 175 kg/cm<sup>2</sup>, en función de la resistencia a la compresión de la mampostería que se estimaba iba a alcanzar el prisma. En total se construyeron 36 sets de prismas para cada grupo de las variables antes mencionadas, para cada set se construyeron 3 prismas, resultando en una muestra total de 117 prismas que incluye 9 prismas adicionales.



**Figura 39.** Diagrama del programa experimental

#### 6.4. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

La **Tabla 9** describe la cantidad, tipo y código de los grupos de prismas construidos y ensayados. Cada grupo es de 3 prismas según la especificación ASTM C1314 [4]. El color asociado a cada grupo de prismas indica el grupo de fabricación al que corresponde, asociado a una misma batida de mortero de pega, un mismo día de fabricación y un mismo día de falla.

**Tabla 9.** Descripción de los grupos de prismas

Ancho del bloque	Resistencia esperada del bloque	Resistencia esperada del mortero	Resistencia esperada del concreto de relleno	Número del grupo	Código del grupo	Cantidad de prismas por grupo
12 cm	133 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)	140 kg/cm <sup>2</sup>	1	133-12-S	3
				2	133-12-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		3	133-12-N	3
			140 kg/cm <sup>2</sup>	4	133-12-N-G	3
	160 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		5	160-12-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	6	160-12-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		7	160-12-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	8	160-12-N-G	3
	190 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		9	190-12-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	10	190-12-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		11	190-12-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	12	190-12-N-G	3
15 cm	133 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)	140 kg/cm <sup>2</sup>	13	133-15-S	3
				14	133-15-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		15	133-15-N	3
			140 kg/cm <sup>2</sup>	16	133-15-N-G	3
	160 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		17	160-15-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	18	160-15-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		19	160-15-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	20	160-15-N-G	3
	190 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		21	190-15-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	22	190-15-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		23	190-15-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	24	190-15-N-G	3
20 cm	133 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)	140 kg/cm <sup>2</sup>	25	133-20-S	3
				26	133-20-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		27	133-20-N	3
			140 kg/cm <sup>2</sup>	28	133-20-N-G	3
	160 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		29	160-20-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	30	160-20-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		31	160-20-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	32	160-20-N-G	3
	190 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/cm <sup>2</sup> (S)		33	190-20-S	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	34	190-20-S-G	3
		50 kg/cm <sup>2</sup> (N)		35	190-20-N	3
			175 kg/cm <sup>2</sup>	36	190-20-N-G	3

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

---

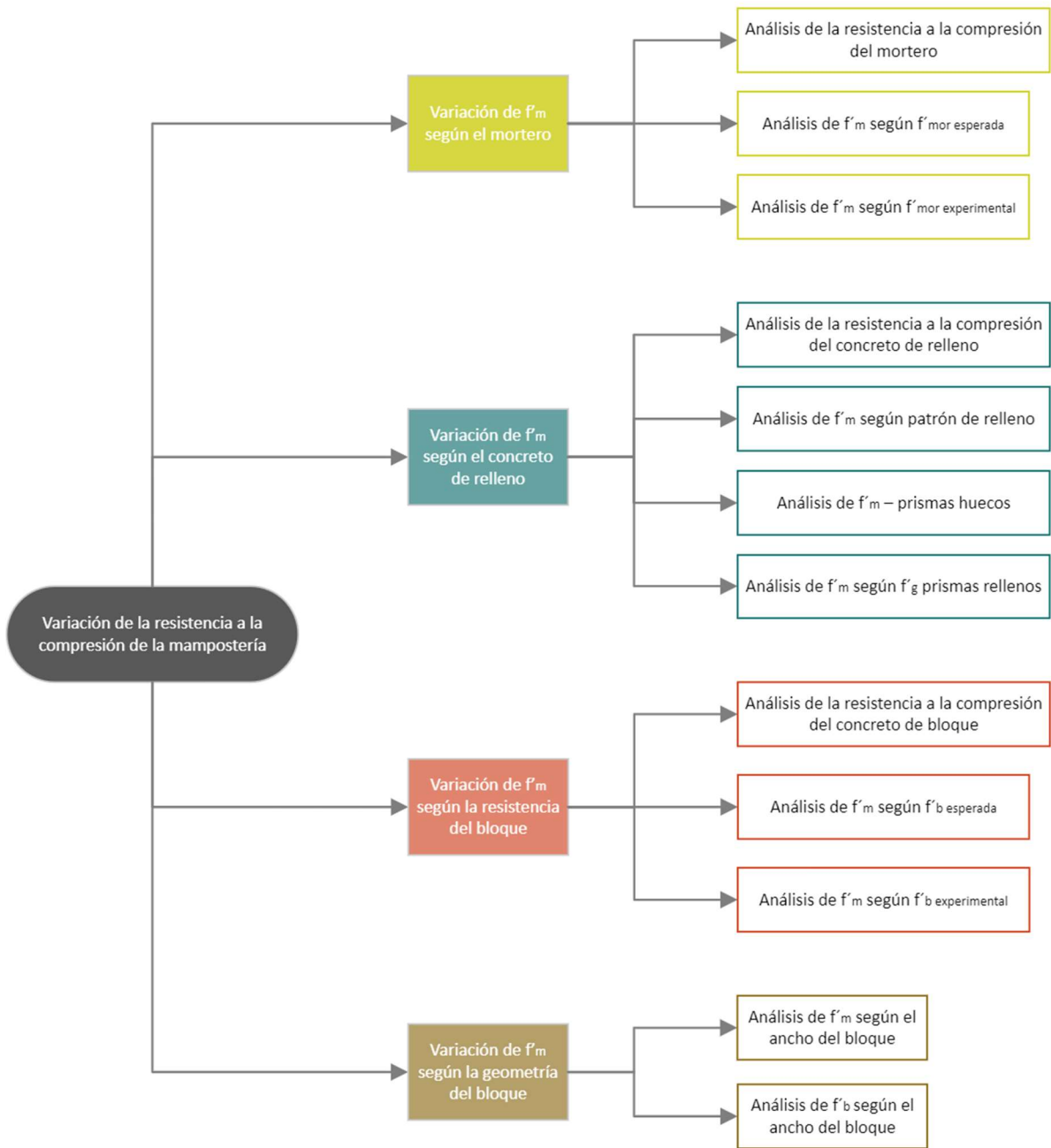
En esta sección, primero se presenta un análisis que compara los resultados obtenidos en esta investigación con las líneas de tendencia que fundamentan la tabla 2 de la especificación TMS 402/602-2022 [2].

Luego se presenta el análisis de la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  para la muestra en estudio, así como su relación con las variables de resistencia a la compresión del bloque  $f'_b$ , geometría del bloque  $b$ , resistencia a la compresión del mortero  $f'_{mor}$  y resistencia a la compresión del concreto de relleno  $f'_g$ , así como la relación con el patrón de relleno de los prismas del análisis.

Para identificar estadísticamente los valores atípicos en la muestra se realizó un análisis mediante el método gráfico de cajas y bigotes (boxplot). Cabe destacar que estos valores atípicos solo se eliminaron para el análisis de las líneas de tendencia al 95 % mostradas en las **Figura 43** y **Figura 45**, las cuales se relacionan con las líneas de tendencia que fundamentan tabla 2 de la especificación TMS 402/602-2022 [2].

Para identificar diferencias significativas en el análisis por componente de la mampostería y comprender más a fondo la relación entre un componente y otro se realizó un análisis estadístico de la varianza. Este análisis se realizó simultáneamente mediante los métodos de Anova y Tukey. Por la cantidad de tablas relacionadas, los resultados del análisis de varianza se detallan en el ANEXO B. RESULTADOS ESTADÍSTICOS y se discuten en esta sección.

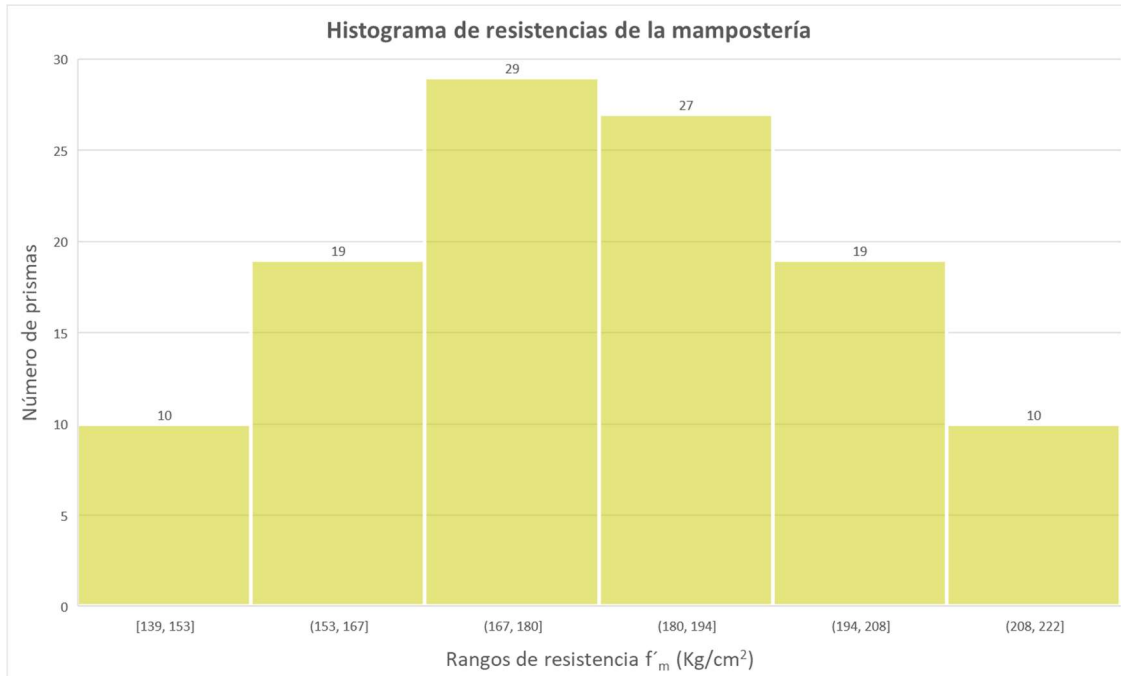
A continuación, para una comprensión global de este capítulo, en la **Figura 40** se presenta un esquema de cómo se estructuró el análisis de resultados. Se profundiza el análisis en las secciones **7.2**, **7.3**, **7.4** y **7.5**.



**Figura 40.** Esquema resumen del análisis de resultados

## 7.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

A continuación, en la **Figura 41** se presenta un histograma de la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  para la muestra en estudio, su forma de campana indica la tendencia normal de la muestra.

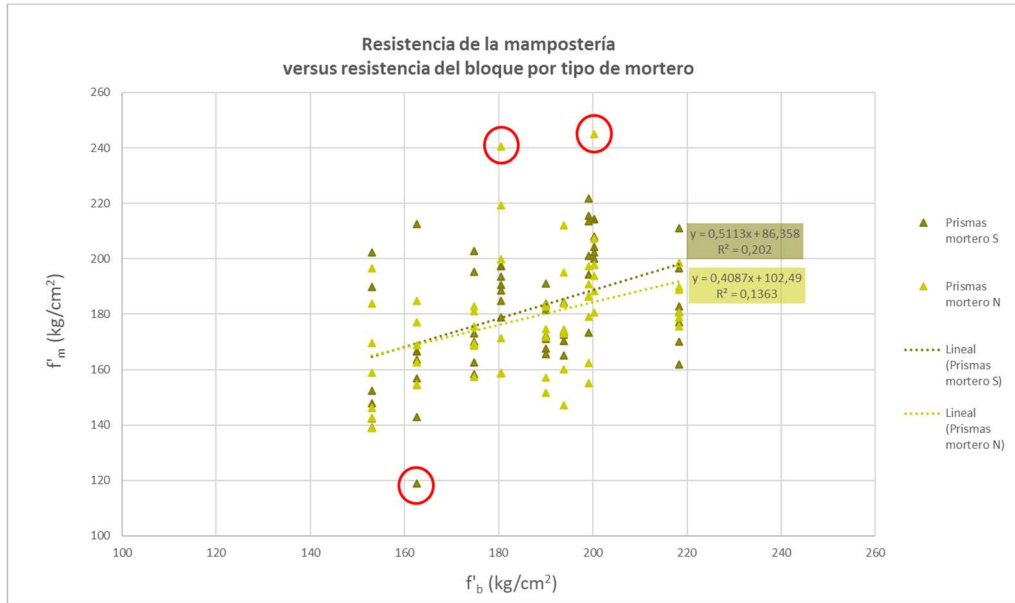


**Figura 41.** Histograma de resistencia de la mampostería

### 7.1.1. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_b$ SEGÚN EL TIPO DE MORTERO Y COMPARACIÓN CON EL TMS

En la sección 4.2.2 se detalla el método de resistencia de la unidad de mampostería (Unit strength method) descrito en el apartado 1.4.B.2.b de la especificación TMS 402/602-2022[2], que presenta la resistencia a la compresión de la mampostería a partir de correlaciones con el tipo de mortero y la resistencia del bloque, mediante la tabla 2. La información contenida en la tabla es producto del análisis de resultados experimentales realizados y detallados en el informe por NCMA [38].

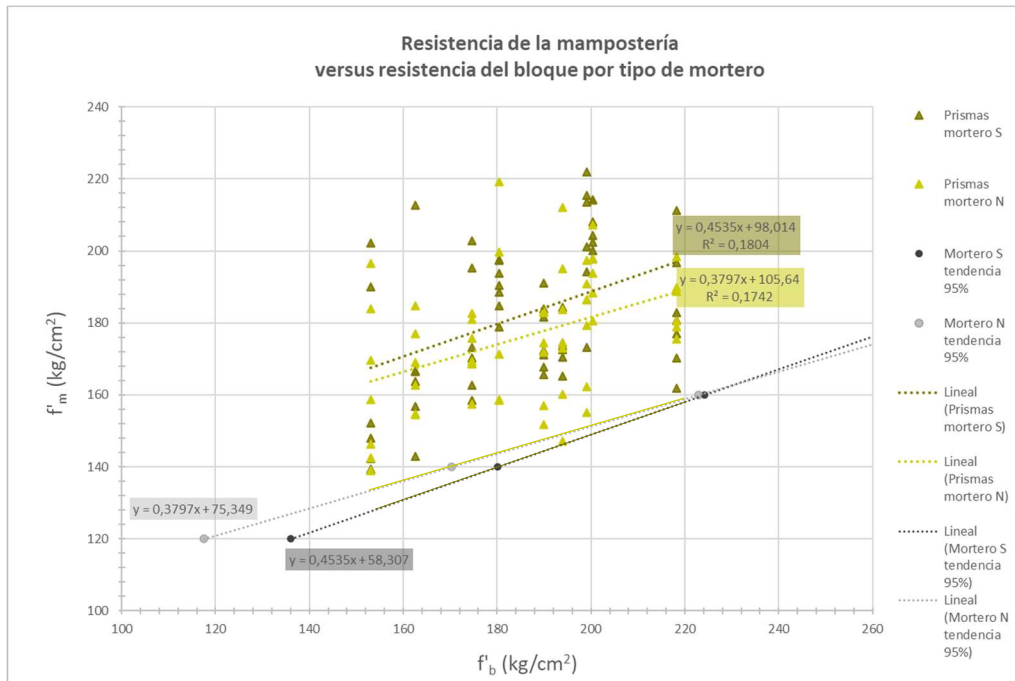
Con la intención de conocer si los materiales nacionales tienen una tendencia similar a la planteada por TMS a partir de las mediciones de NCMA, a continuación, en la **Figura 42** de manera análoga a las líneas de tendencia de los datos que fundamentan la Tabla 2 de la especificación TMS, se presenta las líneas de tendencia que describen la relación de resistencia a la compresión de la mampostería en función de la resistencia experimental del bloque para cada tipo de mortero, en el caso de esta investigación S y N.



**Figura 42.** Resistencia de la mampostería versus resistencia del bloque por tipo de mortero

En un círculo rojo se encierran los valores atípicos que se determinaron para la variación de resistencia  $f'_m$  para cada resistencia  $f'_{mor\ esperada}$  que se presenta en la sección 7.2.1.

Para correlacionar los resultados de esta investigación con los datos de la tabla 2 TMS 402/602-2022 [2], se eliminaron los valores atípicos y se calculó la línea de tendencia al 95 % de confianza, como se muestra en la **Figura 43**. Los rangos fuera de la dispersión de datos son una proyección de la línea de tendencia para comparar con las líneas de tendencia de TMS mostradas en la **Figura 44**.



**Figura 43.** Líneas de tendencia al 95 % de la resistencia de la mampostería versus resistencia del bloque por tipo de mortero

Con el objetivo de desarrollar una correlación entre la resistencia a la compresión de la mampostería y la resistencia individual del mortero y del bloque, se plantean dos ecuaciones para generar una tabla análoga a la Tabla 2 del apartado 1.4.B.2.b del TMS 402/602-2022 [2], las cuales se ilustran en la **Figura 43** como líneas de tendencia al 95 % de confianza para la dispersión de datos obtenidos experimentalmente clasificados por tipo de mortero.

$$f'_m = 0.45f'_b + 58.3 \quad \text{Mortero S} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f'_m = 0.38f'_b + 75.3 \quad \text{Mortero N} \quad \text{Ecuación 6}$$

A partir de la **Ecuación 5** para morteros S y de la **Ecuación 6** para morteros N, se elaboró la **Tabla 10** que se muestra a continuación, análoga a Tabla 2 del TMS 402/602-2022 [2]. Los valores subrayados se obtuvieron a partir de la **Ecuación 5** y **Ecuación 6**, no corresponden a valores de resistencia de bloque presentes en la muestra ensayada en esta investigación.

**Tabla 10.** Propuesta de tabla de resistencia a la compresión para diferentes tipos de mortero

Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado		
Resistencia a la compresión por área neta de mampostería de concreto kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) kg/cm <sup>2</sup>	
	Mortero M o S	Mortero N
100	<u>92</u>	<u>65</u>
120	<u>136</u>	<u>118</u>
140	180	170
160	224	223
180	<u>268</u>	<u>276</u>
200	<u>312</u>	<u>328</u>

Las líneas de tendencia al 95 % se cruzan para valores de resistencia del bloque  $f'_b$  cercanos a 225 kg/cm<sup>2</sup>, valores cuya frecuencia aproximada es de 2.5 % en el país, como se observa en el histograma de la **Figura 18** planteado en el estudio de Abarca y González [37].

En la **Figura 44** se incorporan los datos tabulados en la tabla 2 del TMS 402/602-2022 [2], donde cada color representa una misma versión de código TMS, además, de los datos propuestos en el informe de NCMA [38]. Se observa que la línea de tendencia al 95 % de los resultados obtenidos en esta investigación se ubica entre los valores definidos por las curvas rojas y amarillas correspondientes al TMS 2022 y TMS 2013, lo que sirve como un indicador de la mampostería nacional medida en esta investigación respecto a la estadounidense.

En los comentarios del apartado 1.4.B.2.b del TMS 402/602-2022 [2] se indica que las tendencias planteadas en el NCMA [38] corresponden a los resultados de una investigación experimental que sirvió como base para generar las líneas de tendencia de TMS-2022.

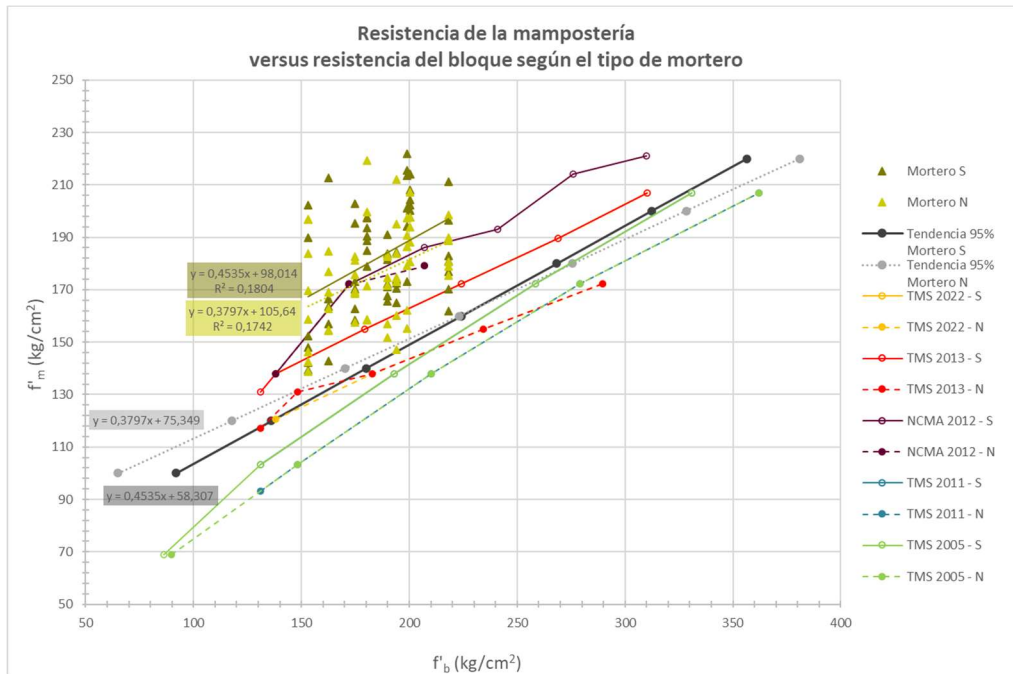


Figura 44. Relación de los datos de investigación por tipo de mortero con las tendencias del TMS

De manera alternativa, en la Figura 45, se presenta el mismo análisis, pero con una línea de tendencia para toda la muestra, sin diferenciar por tipo de mortero. Los rangos fuera de la dispersión de datos son una proyección de la línea de tendencia para comparar con las líneas de tendencia de TMS mostradas en la Figura 46

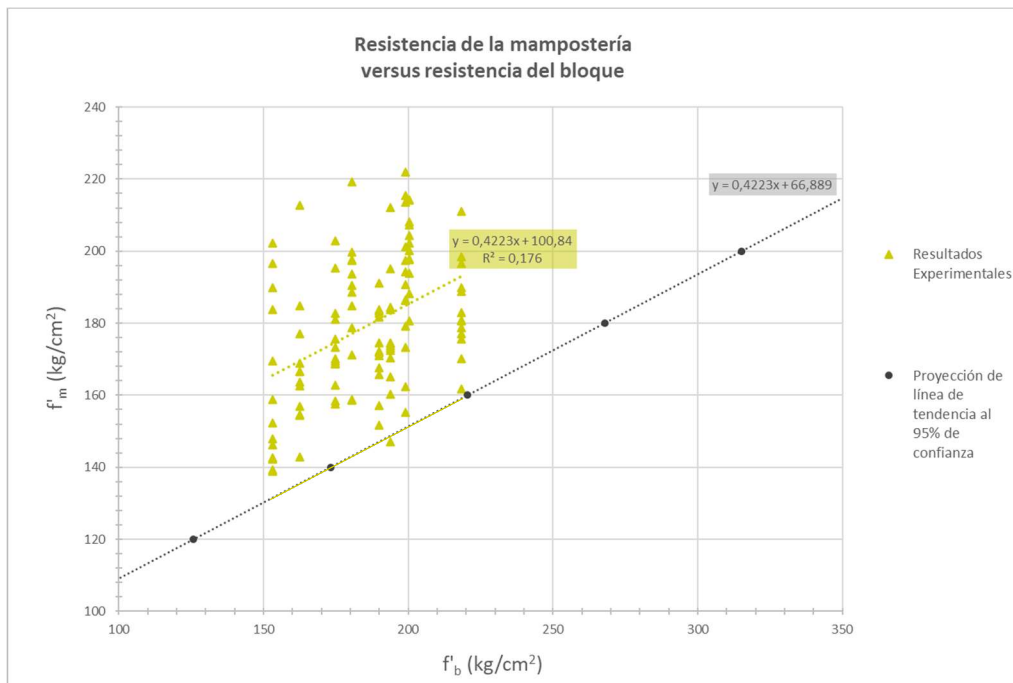


Figura 45. Línea de tendencia al 95 % de la resistencia de la mampostería versus resistencia del bloque

En la **Figura 45** se plantea una única ecuación para generar la correlación, pero ahora, sin distinción de tipo de mortero.

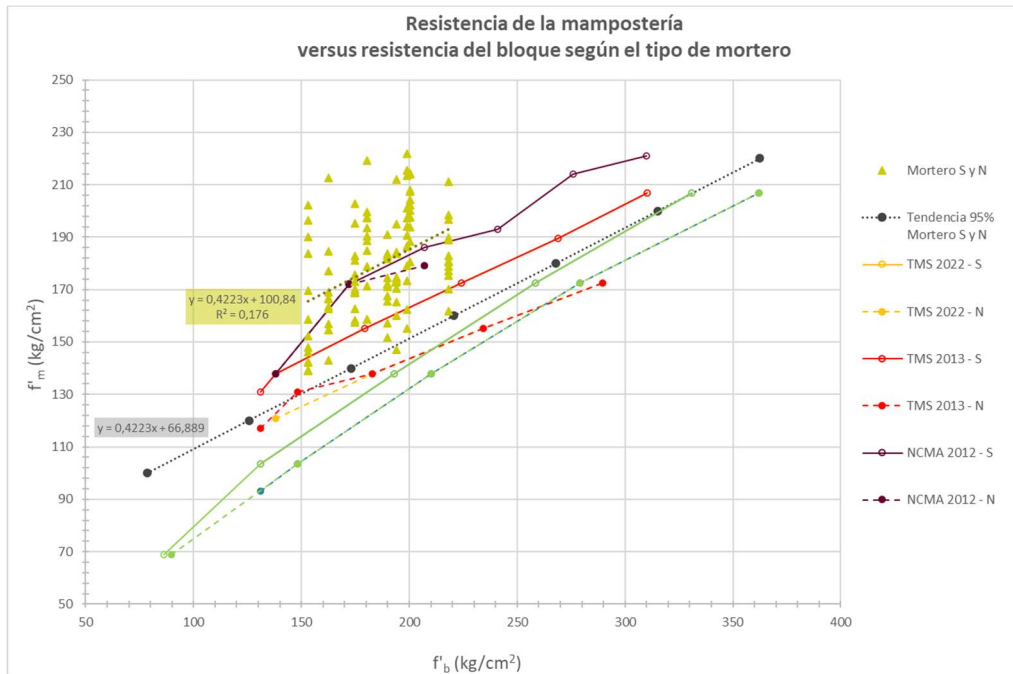
$$f'_m = 0.42f'_b + 66.9 \quad \text{Ecuación 7}$$

De la misma forma, a partir de la **Ecuación 7**, se elaboró la **Tabla 11**, esta vez, sin hacer distinción al tipo de mortero. Los valores subrayados se obtuvieron a partir de la **Ecuación 7**, no corresponden a valores de resistencia de bloque presentes en la muestra ensayada en esta investigación.

**Tabla 11.** Propuesta de tabla de resistencia a la compresión sin distinción de tipo de mortero

Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado	
Resistencia a la compresión por área neta de mampostería de concreto kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) kg/cm <sup>2</sup>
	Mortero M-S-N
100	<u>78</u>
120	<u>126</u>
140	173
160	220
180	<u>268</u>
200	<u>315</u>

En la **Figura 46** se observa como la curva propuesta se ajusta en medio de la líneas rojas y naranja correspondientes al TMS 402/602-2022 [2] y TMS 402/602-2013 [33].



**Figura 46.** Relación de los datos de investigación con las tendencias TMS

Actualmente en el CSCR 2010-14 [1] se indican 3 clases de mampostería, clase A, B y C. Sin embargo, los resultados de esta investigación pueden ser una guía para implementar una metodología basada en líneas de tendencia que respondan a la resistencia de los materiales, ya que se puede ver que la línea de tendencia al 95 % de confianza de esta muestra inicial se proyecta entre las líneas de tendencia planteadas por TMS 402/602-2022 [2] para el método de resistencia de la unidad de mampostería, método que se sabe lo antecede una amplia investigación en la materia.

Comparativamente con lo descrito actualmente en nuestro código de diseño, este método muestra una variación de resistencias de bloque  $f'_b$  y de mampostería  $f'_m$ , presentes en el mercado nacional. Además, tiene la versatilidad de funcionar para determinar la resistencia requerida para las unidades de mampostería partiendo de una resistencia a la compresión de la mampostería especificada y a la vez se puede utilizar para propósitos de inspección cuando se verifica el cumplimiento de la resistencia a la compresión mínima especificada de la mampostería,  $f'_m$ , donde el tipo de mortero y la resistencia a la compresión de la unidad son cantidades conocidas.

Como se verá en detalle en secciones posteriores, la resistencia  $f'_m$  responde al equilibrio de las fuerzas internas de los diferentes componentes, sean estos esfuerzos en la interfaz mortero/bloque, concreto de relleno/bloque, mortero/concreto de relleno, de manera que, un incremento de la resistencia de un componente influye en la respuesta de los otros componentes.

## 7.2. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL MORTERO

En esta sección se presenta un análisis de la influencia de la variación de la resistencia del mortero  $f'_{mor}$  en la resistencia de la mampostería  $f'_m$ .

### 7.2.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

Tal como se detalla en la sección 6.1.3, para esta investigación se utilizaron 2 tipos de mortero preempacados, tipo N y tipo S de un mismo fabricante, sin embargo, durante 6 días se construyó un set de prismas cada día, por lo tanto, se tuvo 6 resistencias experimentales de mortero, una para cada set, 3 tipo S y 3 tipo N que se detallan en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Resistencias del mortero  $f'_{mor\ experimental}$  versus la resistencia  $f'_{mor\ esperada}$

Set $f'_m$	$f'_{mor} = 50$	$f'_{mor} = 120$	$f'_{mor\ esperada}$	% dif exp/esp
(133-S)		120.00	120	0.0%
(133-N)	52.11		50	4.2%
(160-S)		122.18	120	1.8%
(160-N)	53.47		50	6.9%
(190-S)		112.04	120	-6.6%
(190-N)	51.90		50	3.8%
<b>promedio</b>	52.49	118.07		
<b>% dif exp/esp</b>	5%	-2%		
<b>coeficiente variación</b>	2%	5%		

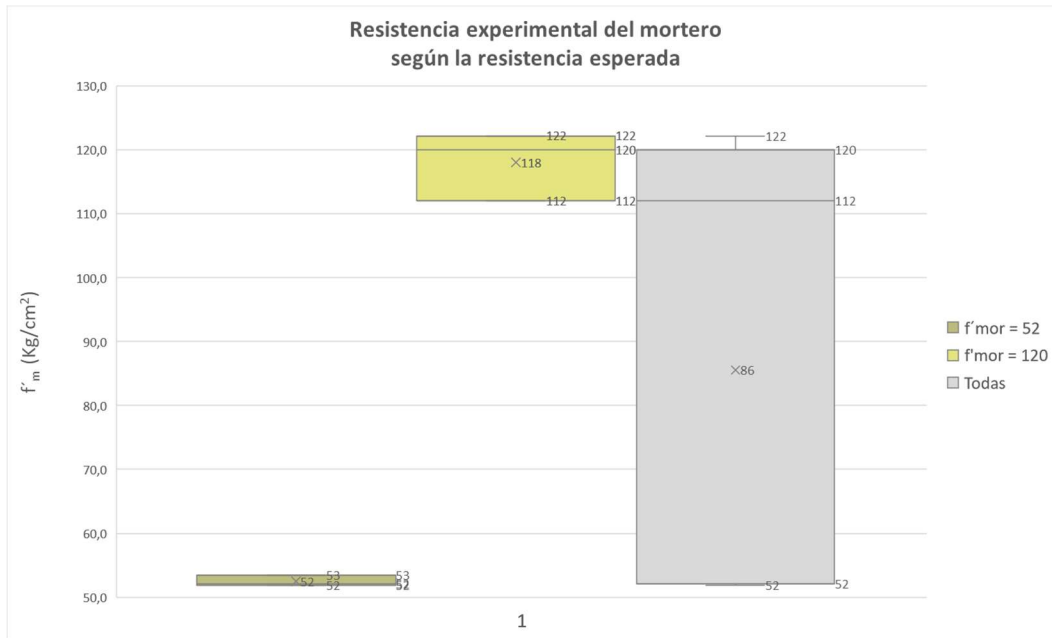
La **Tabla 13** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_{mor\ experimental}$  versus la resistencia  $f'_{mor\ esperada}$  y se tiene que:

- El mortero es la variable que presentó más consistencia entre la resistencia experimental y esperada
- El grupo  $f'_{mor} = 50$  presentó un **promedio de 52.5 kg/cm<sup>2</sup>**, 5 % mayor que el esperado y el grupo  $f'_{mor} = 120$  un promedio de 118.1 kg/cm<sup>2</sup>, solo 2 % menor que el esperado
- La resistencia a la compresión del mortero presentó los menores **coeficientes de variación** de toda la investigación de 2% para  $f'_{mor} = 50$  y 5% para  $f'_{mor} = 120$
- Del análisis de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas** en los promedios de los grupos de resistencia  $f'_{mor\ experimental}$  para cada  $f'_{mor\ esperada}$
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos**

**Tabla 13.** Resumen estadístico para  $f'_{mor\ experimental}$  versus la resistencia  $f'_{mor\ esperada}$

<b>Mortero</b> <i>f'_{mor\ experimental} versus f'_{mor\ esperada}</i>	
<b>Cantidad de grupos</b>	2
<b>Promedio por grupo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Mayor: (120) = 118  Menor: (50) = 52
<b>% diferencia promedio experimental del grupo y valor esperado</b>	Mayor: (50) = 5%  Menor: (120) = -2%
<b>Coefficiente de variación por grupo</b>	Mayor: (120) = 5%  Menor: (50) = 2%
<b>Diferencias significativas</b>	Método Anova: <u>Si hay diferencias</u>  Método Tukey: (50) / (120)
<b>Valores atípicos por set (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Método Box Plot: No hay atípicos

La **Figura 47** muestra como el mortero es la variable que presentó más consistencia entre los valores de resistencia experimentales y esperados, alcanzando una **diferencia máxima** de **6.9 %** para los morteros N del set 160-N y de **6.6 %** para los morteros S del set 190-S.



**Figura 47.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia experimental del mortero versus la resistencia esperada

### 7.2.1. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_{mor\ esperada}$

La **Tabla 14** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_{mor\ esperada}$  y se tiene que:

- Ambos grupos de  $f'_m$  respecto a las resistencias  $f'_{mor\ esperada}$  S y M presentaron un **coeficiente de variación** de 12 %
- De los análisis estadísticos de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que, no existen **diferencias significativas** en los promedios de los grupos, ya que se tienen promedios de 178 y 182, estadísticamente iguales. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 48**
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtienen 3 **valores atípicos**, 2 máximos para los grupos **190-15-N-G** y **190-12-N-G** y un mínimo para el grupo **133-12-S-G**. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 48**.

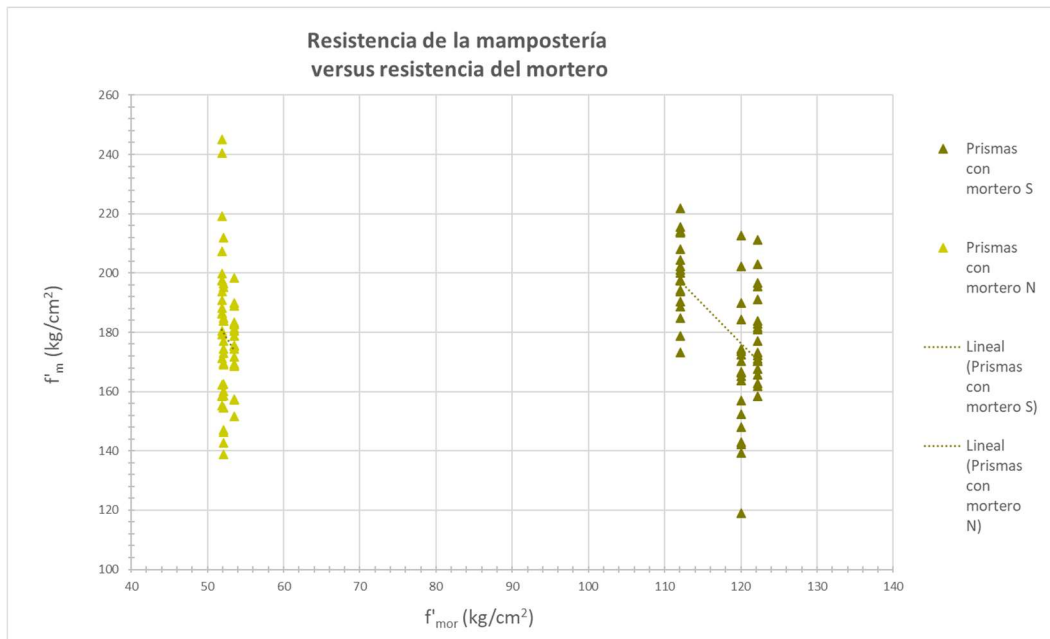
**Tabla 14.** Resumen estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_{mor\ esperada}$

Mortero $f'_m$ versus $f'_{mor\ esperada}$	
<b>Cantidad de grupos</b>	2
<b>Promedio por grupo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Mayor: (S) = 182 Menor: (N) = 178
<b>Coefficiente de variación por grupo</b>	Mayor: (S) = 12% Menor: (N) = 12%
<b>Diferencias significativas</b>	Método Anova: No hay Diferencias Método Tukey: No hay Diferencias
<b>Valores atípicos por set (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Método Box Plot: (133-12-S-G): 119 (190-12-N-G): 241 (190-15-N-G): 245



**Figura 48.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus la resistencia esperada del mortero

Como se muestra en la **Figura 49**, al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  para cada resistencia experimental del mortero  $f'_{mor}$  y generar una línea de tendencia para cada dispersión de datos clasificados por valor esperado de  $f'_{mor}$ , se observa que ambas las líneas de tendencia muestran pendiente negativa, lo que denota una reducción de  $f'_m$  al aumentar  $f'_{mor}$  tal como se observa en la **Figura 51**.



**Figura 49.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del mortero

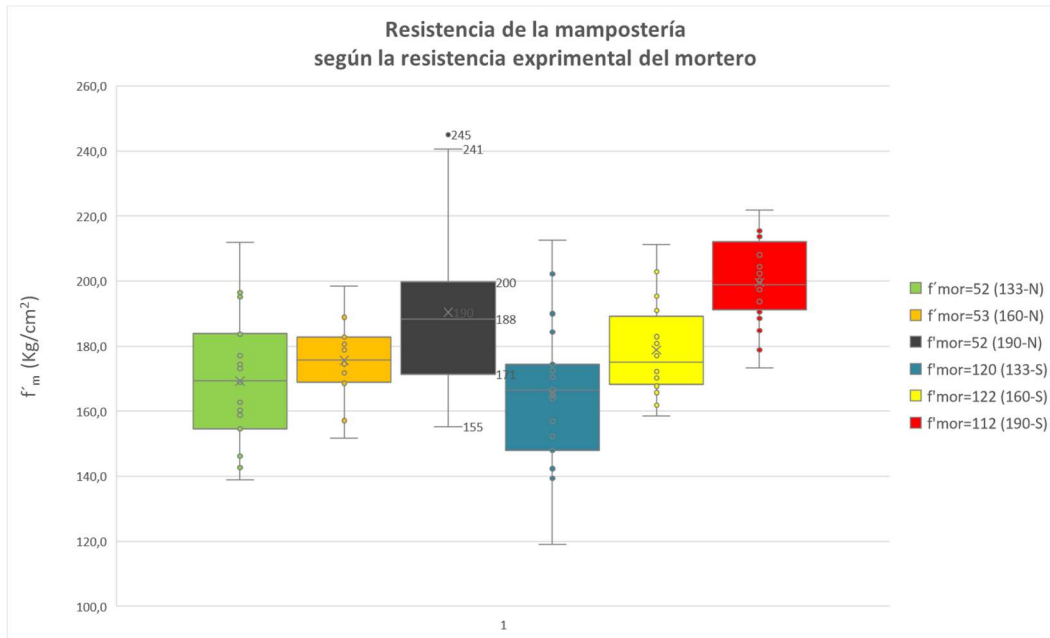
### 7.2.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_{mor\ experimental}$

La **Tabla 15** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_{mor\ experimental}$  y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo  $f'_{mor} = 120$  (133-S) de 14 % y un valor mínimo en el grupo  $f'_{mor} = 112$  (190-S) de 6 %.
- Del análisis estadístico de varianza con el método Anova se tiene que, existen **diferencias significativas**. Con el método de Tukey, se tiene que la diferencia significativa se da en todas las combinaciones de grupos excepto en 133-S / 133-N. Las mayores diferencias significativas se dan entre 133-S / 190-S y 133-N / 190-S. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 50**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtiene 1 **valor atípico** para el set: 190-15-N-G, mismo grupo que presentó 2 valores atípicos en el análisis por resistencia de  $f'_{mor\ esperada}$ . Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 50**.

**Tabla 15.** Resumen estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_{mor\ experimental}$

Mortero <i>f'_m versus f'_{mor\ experimental}</i>	
<b>Cantidad de grupos</b>	6
<b>Promedio por grupo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Mayor: (190-S) = 200  Menor: (133-S) = 165
<b>Coefficiente de variación por grupo</b>	Mayor: (133-S) = 14%  Menor: (190-S) = 6%
<b>Diferencias significativas</b>	Método Anova: Si hay diferencias  Mayor diferencia (133-S) / (190-S) Método Tukey: (133-N) / (190-S) Menor diferencia (133-S) / (133-N)
<b>Valores atípicos por set (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	Método Box Plot: (190-15-N-G): 245

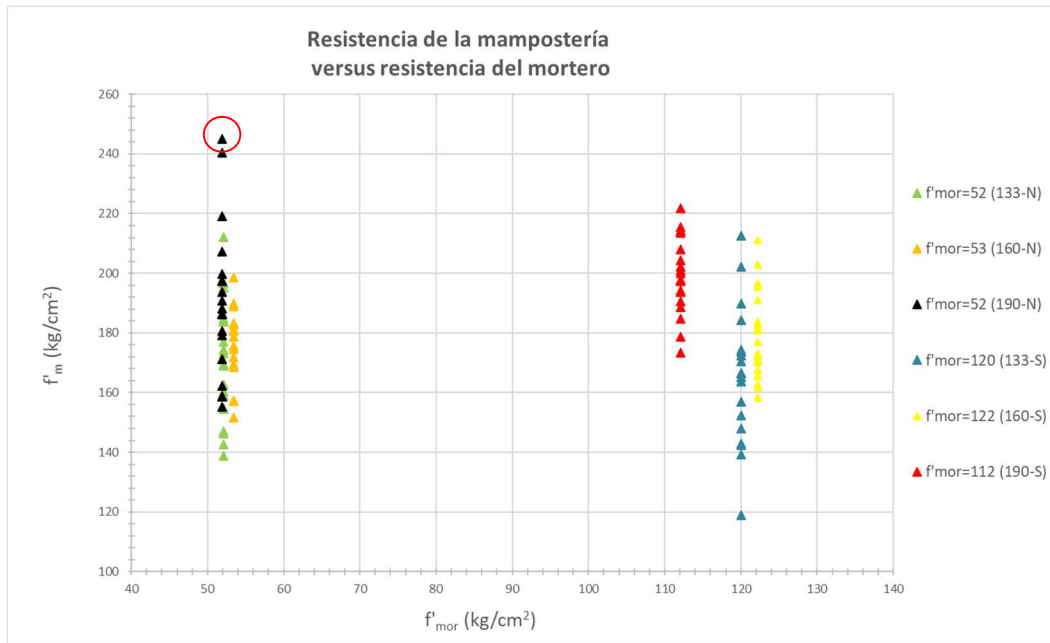


**Figura 50.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus la resistencia experimental del mortero.

En la **Figura 50** se observa en los grupos  $f'_{mor} = 52$  (190-N) (negro) y  $f'_{mor} = 112$  (190-S) (rojo), que al incrementar la resistencia del mortero  $f'_{mor}$  incrementa el promedio de la resistencia de la mampostería  $f'_m$ , al comparar los valores promedio (línea media de las cajas). Sin embargo, en los grupos  $f'_{mor} = 52$  (133-N) (verde) y  $f'_{mor} = 120$  (133-S) (azul) se observan resistencias máximas y promedio equivalentes.

Tal como describe Drysdale y Hamid [6], al indicar que en los prismas con bloques de resistencias altas las propiedades del mortero pueden afectar los esfuerzos en prismas cargados axialmente.

Sobre la relación de la resistencia del mortero  $f'_{mor}$  y la resistencia de la mampostería  $f'_m$ , en su investigación de Navas [26] concluye que, al disminuir la resistencia de los morteros, también disminuye la resistencia de los prismas y lo atribuye a que los morteros de baja resistencia poseen una mayor deformación transversal, lo que provoca mayores esfuerzos de tracción en la interfase mortero/bloque.



**Figura 51.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia experimental del mortero

En la **Figura 51** se observa que los prismas de los grupos  $f'_{mor} = 53$  (160-N) (anaranjado) y  $f'_{mor} = 122$  (160-S) (amarillo), ambos con resistencia  $f'_b = 160$  coincidieron con las resistencias experimentales de  $f'_{mor}$  más altas tanto para morteros S como N. Además, se observa que los grupos  $f'_{mor} = 52$  (190-N) (negro) y  $f'_{mor} = 112$  (190-S) (rojo), ambos con resistencia  $f'_b = 190$  presentaron las resistencias experimentales  $f'_m$  más altas tanto para morteros S como N.

Por lo tanto, el incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_{mor}$  es un fenómeno que solo es visible para altas resistencias de bloque y comparando los valores promedio, no los máximos.

### 7.3. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL CONCRETO DE RELLENO

En este apartado se estudia la relación del concreto de relleno con la resistencia alcanzada por el prisma. Según la sección 2.2 de la especificación TMS 402/602-2022 [2], cuando  $f'_m > 140 \text{ kg/cm}^2$ , se debe cumplir la relación  $f'_g \geq f'_m$ .

De los resultados obtenidos los 57 prismas rellenos, todos con excepción de 1 presentaron un  $f'_m > 140 \text{ kg/cm}^2$ . Además, el 91 % de los prismas cumple la relación  $f'_g \geq f'_m$  y solo 5 prismas presentaron un  $f'_m > f'_g$ . Cabe destacar que los 5 prismas que representan los  $f'_m$  máximos, que como se ve en los análisis estadísticos de cajas y bigotes, se relacionan con valores atípicos, corresponden específicamente a los grupos 133-12-S-G, 133-20-S-G, 190-12-N-G y 190-15-N-G.

#### 7.3.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE RELLENO

Tal como se detalla en la sección 6.1.4, para esta investigación se utilizaron 2 tipos de concreto de relleno preempacado, de un mismo fabricante. Durante 6 días, se construyó un set de prismas cada día, por lo tanto, se obtuvo 6 resistencias experimentales de concreto de relleno, una para cada set, cuyas propiedades se detallan en la **Tabla 16**.

Es importante destacar que todos los valores de  $f'_g$  están por debajo del valor máximo de  $352 \text{ kg/cm}^2$  indicado en la sección 9.1.9.1.2 del código TMS 402/602-2022 [2].

**Tabla 16.** Resistencias del concreto de relleno  $f'_g$  experimental versus la resistencia  $f'_g$  esperada

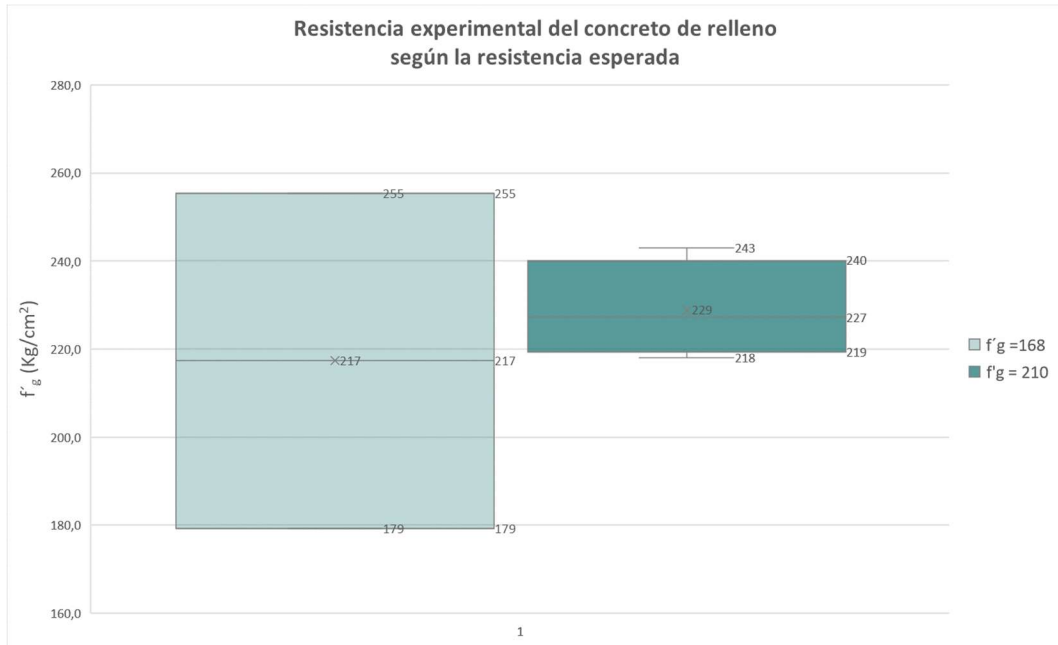
Set	$f'_g = 168$	$f'_g = 210$	$f'_g$ esperada	% dif exp/esp
(133-S)	179.28		168	7%
(133-N)	255.40		168	52%
(160-S)		217.99	210	4%
(160-N)		231.33	210	10%
(190-S)		242.98	210	16%
(190-N)		223.22	210	6%
promedio	217.34	228.88		
% dif exp/esp	29%	9%		
coeficiente variación	25%	5%		

La **Tabla 17** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_{g \text{ experimental}}$  versus la resistencia  $f'_{g \text{ esperada}}$  y se tiene que:

- El grupo  $f'_{g} = 168$  presentó un **promedio** 29 % mayor que el esperado y el grupo  $f'_{g} = 210$  solo 9 % mayor que el esperado.
- El grupo  $f'_{g} = 168$  presentó un **coeficiente de variación** de 25 % y  $f'_{g} = 210$  de 5 %, siendo 25% el coeficiente más alto de toda la investigación.
- Del análisis estadístico de varianza con el método Anova se tiene que, no existen diferencias significativas en los promedios de los grupos. Sin embargo, al analizar mediante el método de Tukey se tiene **diferencia significativa**, el grupo  $f'_{g} = 168$  presentó un promedio de 217 kg/cm<sup>2</sup>, ligeramente menor al grupo  $f'_{g} = 210$  que presentó un promedio de 229 kg/cm<sup>2</sup>. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 52**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos**. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 52**.

**Tabla 17.** Resumen estadístico para  $f'_{g \text{ experimental}}$  versus la resistencia  $f'_{g \text{ esperada}}$

Concreto de relleno	
$f'_{g \text{ experimental}}$ versus $f'_{g \text{ esperada}}$	
Cantidad de grupos	2
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (210) = 229 Menor: (168) = 217
% diferencia promedio experimental del grupo y valor esperado	Mayor: (168) = 7% - 52% Menor: (210) = 4% - 16%
Coeficiente de variación por grupo	Mayor: (168) = 25% Menor: (210) = 5%
Diferencias significativas	Método Anova: No hay Diferencias Método Tukey: (168) / (210)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: No hay atípicos



**Figura 52.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia experimental del concreto de relleno versus la resistencia esperada

### 7.3.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ SEGÚN EL PATRÓN DE RELLENO

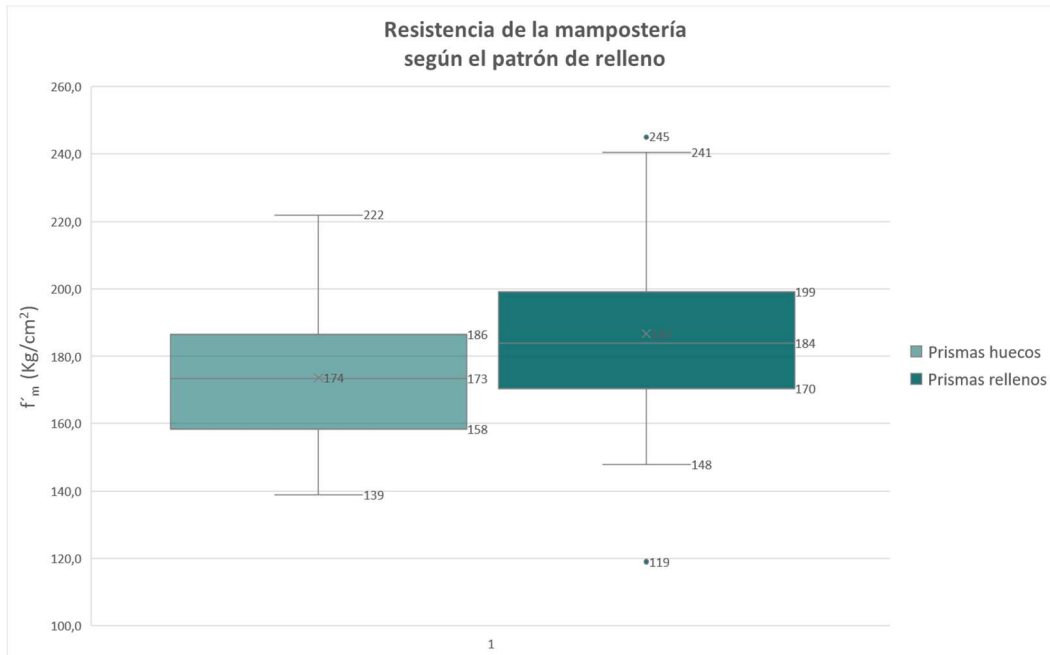
La **Tabla 18** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  según el *patrón de relleno* y se tiene que:

- El grupo de *prismas huecos* presentó un **coeficiente de variación** de 11 % y el de *prismas rellenos* de 12 %.
- Del análisis estadístico de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que, existen **diferencias significativas** en los promedios de los grupos. El grupo de *prismas rellenos* presentó un promedio de 187, mayor que el grupo de *prismas huecos* que presentó un promedio de 174, un 8 % menor.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtiene **1 valor atípico** en el grupo 133-12-S-G. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 53**.

**Tabla 18.** Resumen estadístico para  $f'_m$  según el *patrón de relleno*

Concreto de relleno $f'_m$ por patrón de relleno	
Cantidad de grupos	2
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (rellenos) = 187 Menor: (huecos) = 174
Coefficiente de variación por grupo	Mayor: (rellenos) = 12% Menor: (huecos) = 11%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Método Tukey: (rellenos)/(huecos)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: (133-12-S-G) = 119

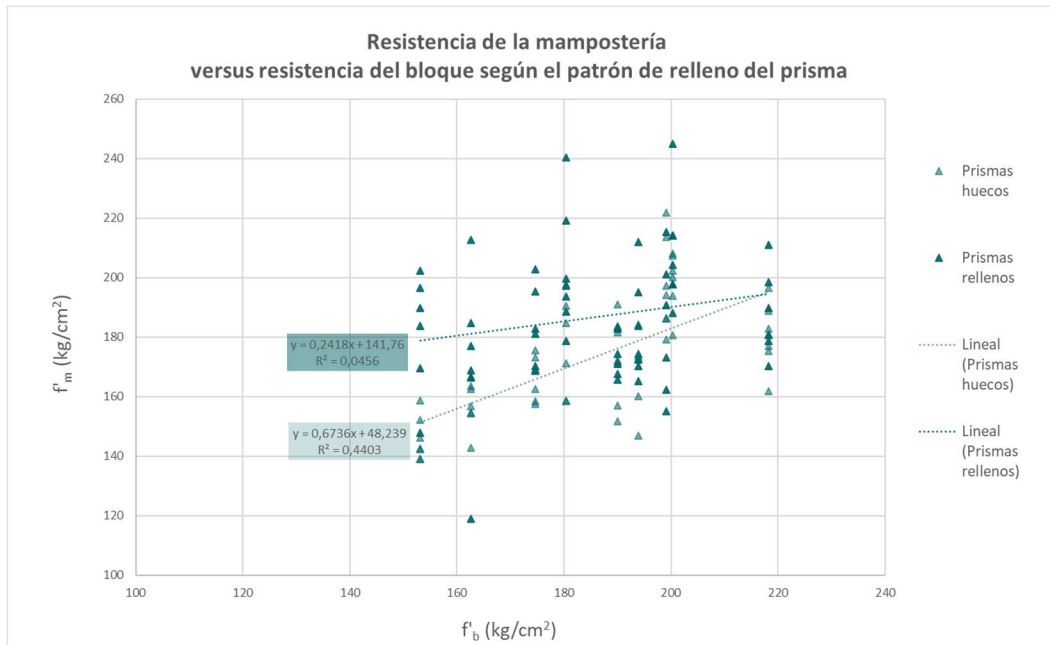
La tendencia de las cajas en la **Figura 53** reitera que para esta investigación los prismas rellenos presentaron una resistencia  $f'_m$  en promedio 8 % mayor que los prismas huecos. Este comportamiento también se aprecia en la **Figura 54**.



**Figura 53.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus el patrón de relleno

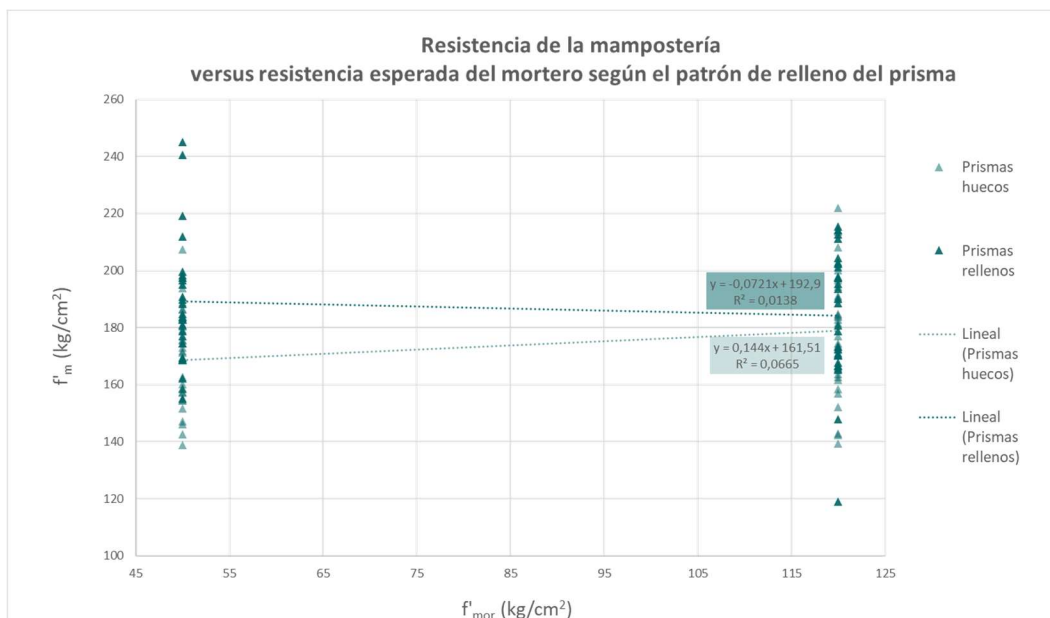
Estudios previos a nivel internacional han presentado también una tendencia de incremento de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  de los prismas rellenos con respecto a los huecos, tal es el caso del estudio de Khalaf [43], donde un grupo de prismas rellenos alcanzaron las mayores resistencias a la compresión y atribuyó este comportamiento a la compatibilidad de deformaciones que surgía en la interfaz bloque/concreto de relleno, debido a la similitud de las propiedades de deformación.

Particularmente, en el estudio de Khalaf [43] en este grupo de prismas, la resistencia del concreto de relleno  $f'_g$  era entre 45 % y 50 % mayor que la resistencia de los bloques  $f'_b$ . Pese a que en esta investigación la resistencia de los concretos de relleno  $f'_g$  fueron tan solo un 22 % mayores que  $f'_b$ , se cree que las propiedades de los aditivos de la mezcla preempacada brindaron mayor cohesión y menor contracción inicial, incrementando así el efecto de la compatibilidad de deformaciones planteada por Khalaf [43].



**Figura 54.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del bloque según el patrón de relleno

De la **Figura 54**, al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  para cada patrón de relleno de prisma, la línea de tendencia para cada dispersión de datos se observa que ambas las líneas de tendencia muestran pendiente positiva y una clara tendencia al incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_b$ , con valores superiores de  $f'_m$  para el grupo de prismas rellenos. Para resistencias de bloque  $f'_b$  cercanas a 220 kg/cm<sup>2</sup>, los valores de  $f'_m$  de los prismas huecos y rellenos convergen.



**Figura 55.** Relación de la resistencia de la mampostería versus experimental del mortero versus patrón de relleno

En la **Figura 55** se presenta el comportamiento de  $f'_m$  de prismas huecos y rellenos versus la variación de la resistencia del mortero  $f'_{mor}$ . La tendencia creciente en prismas huecos señala que el valor de  $f'_m$  aumenta al aumentar el valor de resistencia  $f'_{mor}$ , contrario a lo que ocurre con los prismas rellenos.

Se observa que se obtuvo las mismas tendencias obtenidas por Núñez [40] en su investigación. Por otro lado, al comparar con las tendencias obtenidas por Drysdale y Hamid [6] mostradas en la **Figura 5**, únicamente se coincide con la tendencia creciente para prismas huecos. Lo mismo ocurre en la investigación de Khalaf [43], donde señala que los mejores resultados de resistencia a la compresión se lograron cuando las características de deformación del concreto de relleno coincidían con las del bloque. Esto se logró mediante el uso de concreto de relleno con una resistencia a la compresión entre un 45% y un 50% mayor que la del bloque. En esta investigación, la resistencia del concreto de relleno superó la del bloque en aproximadamente 22%.

El resultado de  $f'_m$  es la conjunción de la interacción de esfuerzos internos en los componentes de la mampostería, en el caso de los prismas de esta investigación, se tienen altas resistencias de concreto de relleno, pero a la vez, una alta compatibilidad de deformaciones entre el concreto de relleno y el bloque, resultado de una adecuada compactación, pero sobre todo, de la poca contracción plástica y de secado por el contenido de aditivos de la mezcla preempacada, propiciando que bloque y concreto de relleno puedan desarrollar mayores resistencias en conjunto, antes de presentar agrietamiento de la unidad.

### 7.3.3. ANÁLISIS DE $f'_m$ EN PRISMAS HUECOS

La **Tabla 19** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  de *prismas huecos* y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo 133 – S de 10 % y un valor mínimo en el grupo 190 – S de 6 %.
- Del análisis estadístico de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que existen **diferencias significativas** en los promedios de todas las combinaciones de sets, pero principalmente entre 133-S / 190-S, 133-N /190-S y 160-N / 190-S. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 56**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos**. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 56**.

**Tabla 19.** Resumen estadístico para  $f'_m$  de *prismas huecos*

Concreto de relleno $f'_m$ de prismas huecos	
Cantidad de grupos	6
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (190-S) = 201 Menor: (133-N) = 156
Coeficiente de variación por grupo	Mayor: (133-S) = 10% Menor: (190-S) = 6%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Mayor diferencia (133-S) / (190-S) Método Tukey: (133-N) / (190-S) Menor diferencia (133-S) / (133-N)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: No hay atípicos

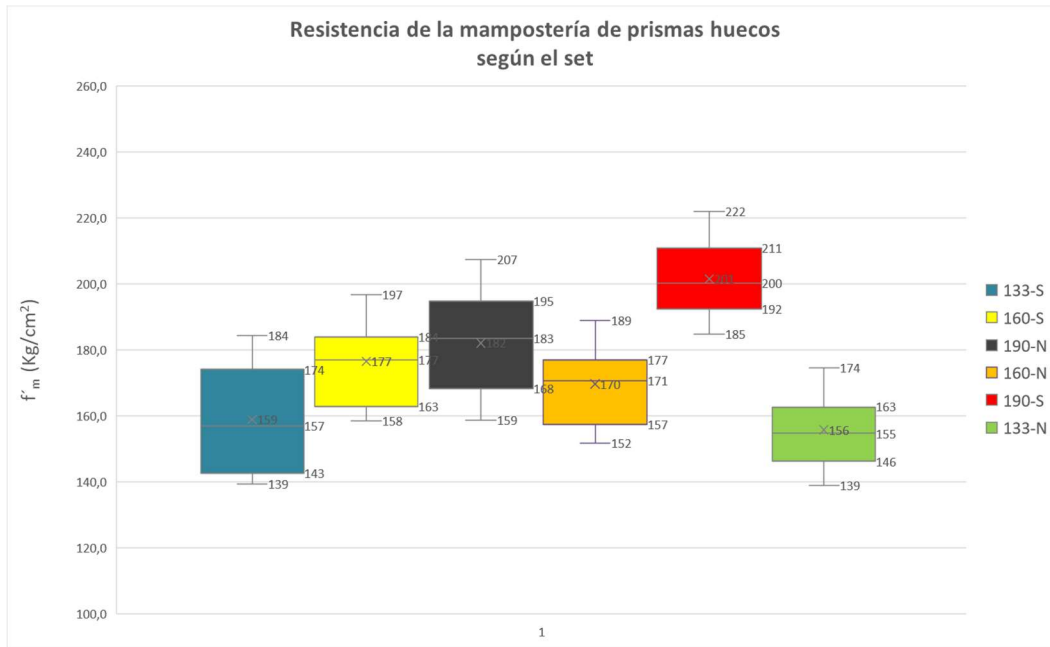


Figura 56. Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería de prismas huecos por set

En la Figura 57, se ordenaron los grupos de manera creciente al valor de  $f'_g$  obtenido, sin embargo, no se ve una clara tendencia de incremento en  $f'_m$  al aumentar  $f'_g$ .

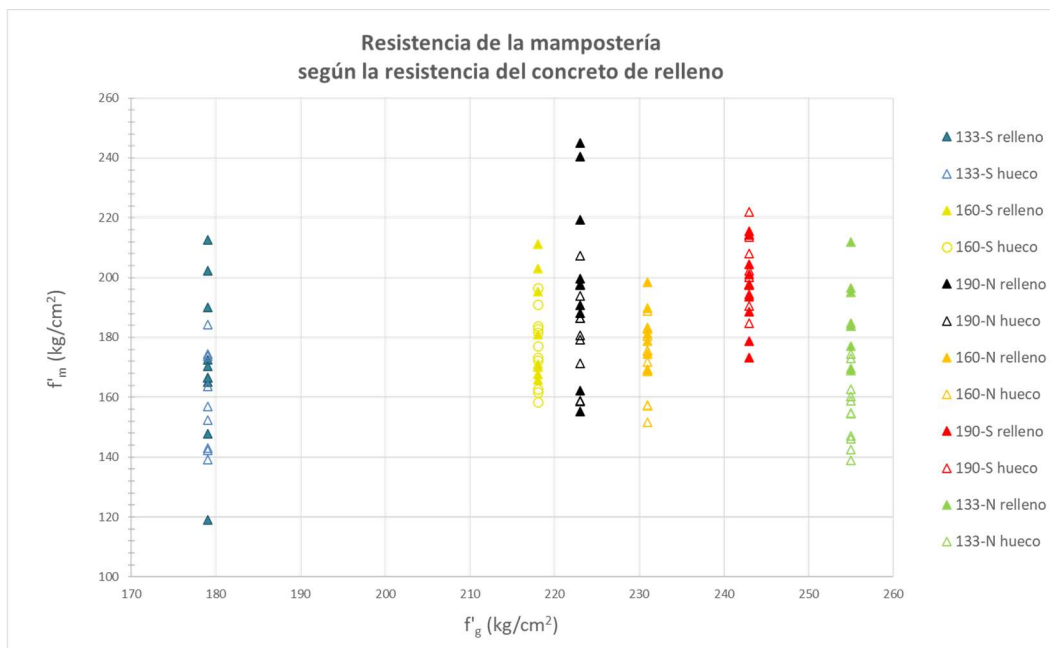
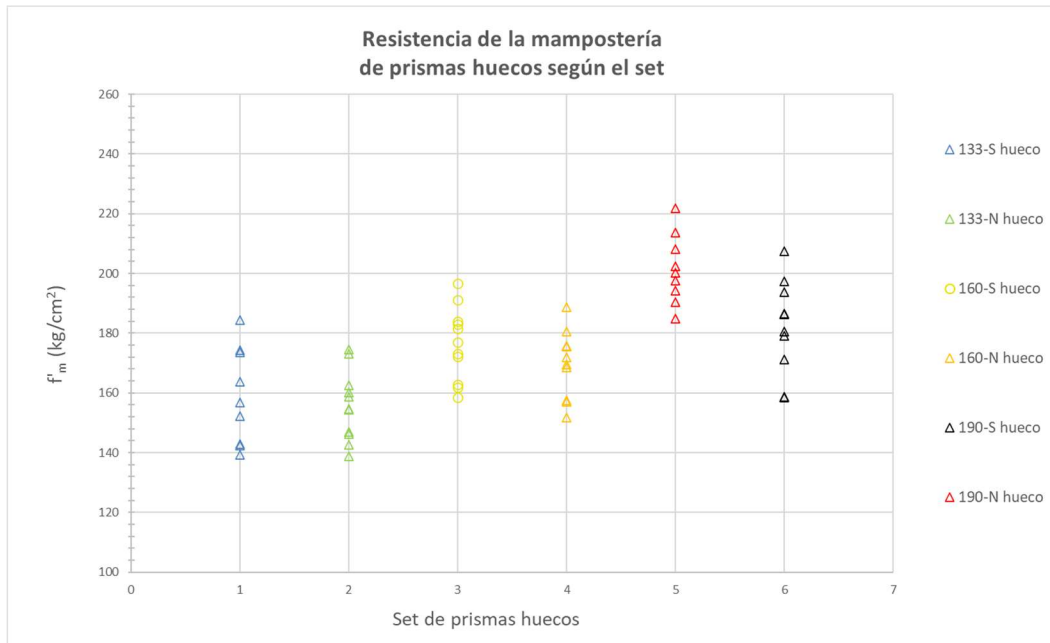


Figura 57. Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del concreto de relleno

Por otro lado, se observa de manera gráfica que, en cada grupo, excepto en el 190-S, se obtuvo una resistencia a la compresión  $f'_m$  mayor en los prismas rellenos. Además, en el caso de los grupos 160 y 190, al aumentar  $f'_g$ , disminuye el  $f'_m$  máximo, para una misma resistencia de bloque  $f'_b$ .

También se aprecia que pese a que el set 133-N (verde) posee un  $f'_g$  mayor, las resistencias máximas alcanzadas  $f'_m$  son similares a las del set 133-S (azul), cuyo  $f'_g$  es el más bajo, por lo que se infiere que el concreto de relleno no es un factor que afecte significativamente la resistencia de los prismas elaborados con bloques de igual resistencia  $f'_b$  y diferente tipo de mortero.



**Figura 58.** Relación de la resistencia de la mampostería en prismas huecos por set

En el caso de los prismas huecos, en la **Figura 58**, se observa que en términos generales a menor resistencia del mortero  $f'_{mor}$ , se obtiene menor resistencia del prisma  $f'_m$ , esto se puede atribuir a que los morteros de menor resistencia presentan un menor módulo de elasticidad y una mayor deformación transversal lo que provoca mayor esfuerzo de tracción en la interfaz mortero/bloque, tal como explica Navas [26], quien obtuvo resultados similares en su investigación.

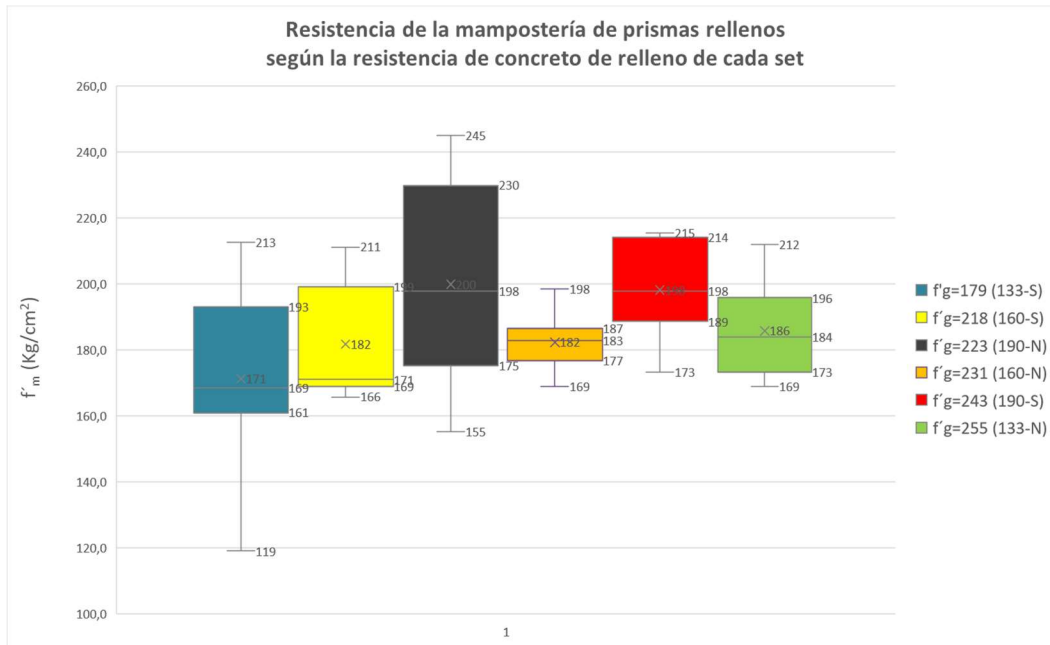
### 7.3.4. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_g$ EN PRISMAS RELLENOS

La **Tabla 20** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  en *prismas rellenos* y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo 133 – S con un valor de 16 % y un valor mínimo en el grupo 160 – N de 5 %.
- Del análisis estadístico de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que existen **diferencias significativas** en los promedios de casi todos los grupos, pero principalmente entre 133-S / 190-S, 133-S /190-N y 160-N / 160-S.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos** Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 59**.

**Tabla 20.** Resumen estadístico para  $f'_m$  de *prismas rellenos*

Concreto de relleno $f'_m$ de <i>prismas rellenos</i>	
Cantidad de grupos	6
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (190-N) = 200 Menor: (133-S) = 171
Coeficiente de variación por grupo	Mayor: (133-S) = 16% Menor: (160-N) = 5%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Mayor diferencia (133-S) / (190-S) Método Tukey: (133-S) / (190-N) Menor diferencia (160-S) / (160-N)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: No hay atípicos



**Figura 59.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería de prismas rellenos por set

Al comparar los promedios de los grupos de prismas huecos de la **Figura 56** y de prismas rellenos de la **Figura 59**, se puede observar que en casi todos los sets se obtuvo un **promedio mayor para los prismas rellenos** de hasta **19 %**, excepto en el grupo 190-S, en el cual los prismas huecos presentaron un promedio **2 %** mayor que los rellenos.

En el caso de los prismas rellenos, a partir de la **Figura 60** se observa que no hay una clara tendencia en el incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_g$ . Este fenómeno lo explica Khalaf [43], en su estudio donde concluye que aumentar la resistencia del mortero en prismas con concreto de relleno tiene un efecto insignificante sobre el valor de resistencia  $f'_m$ , lo atribuye a la influencia de los esfuerzos de confinamiento horizontal ejercidos sobre la junta de mortero por las columnas de concreto de relleno, lo que aumenta la resistencia aparente del mortero. Donde, debido a la razón de Poisson del mortero, al aumentar la resistencia del mortero disminuyen los esfuerzos de confinamiento y viceversa.

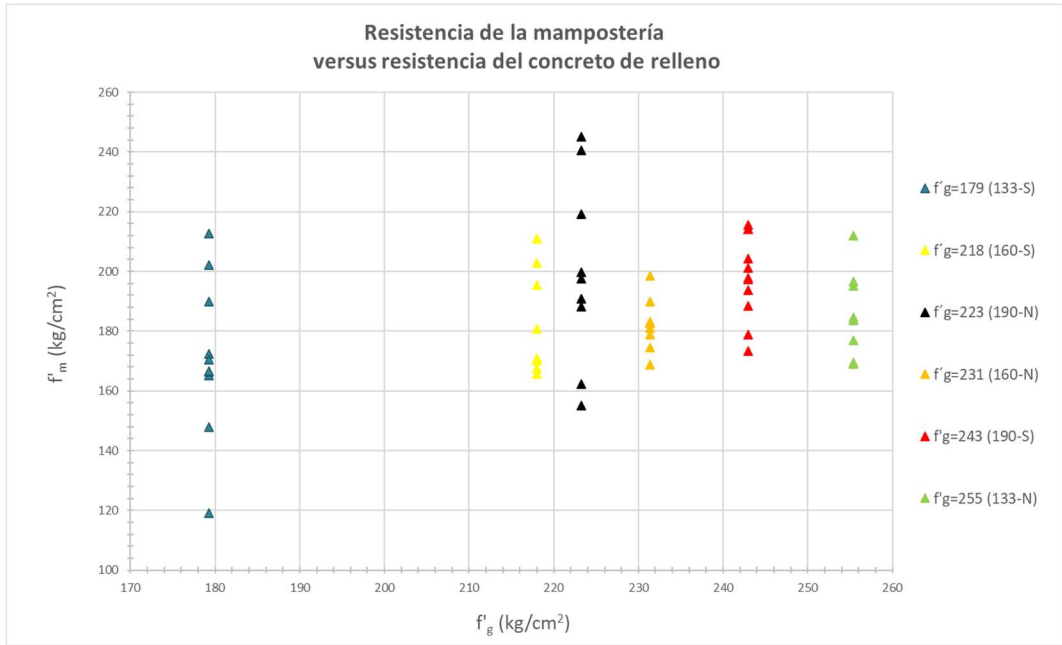


Figura 60. Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del concreto de relleno en prismas rellenos

Sin embargo, al plantear una línea de tendencia de los datos de resistencia de los prismas rellenos, sí se evidencia una tendencia de incremento en  $f'_m$  al aumentar la resistencia  $f'_g$ , como se observa en la Figura 61, lo que corrobora los resultados obtenidos por Drysdale y Hamid [6] que se muestran en la Figura 4 y por Khalaf [43],[44] y [45].

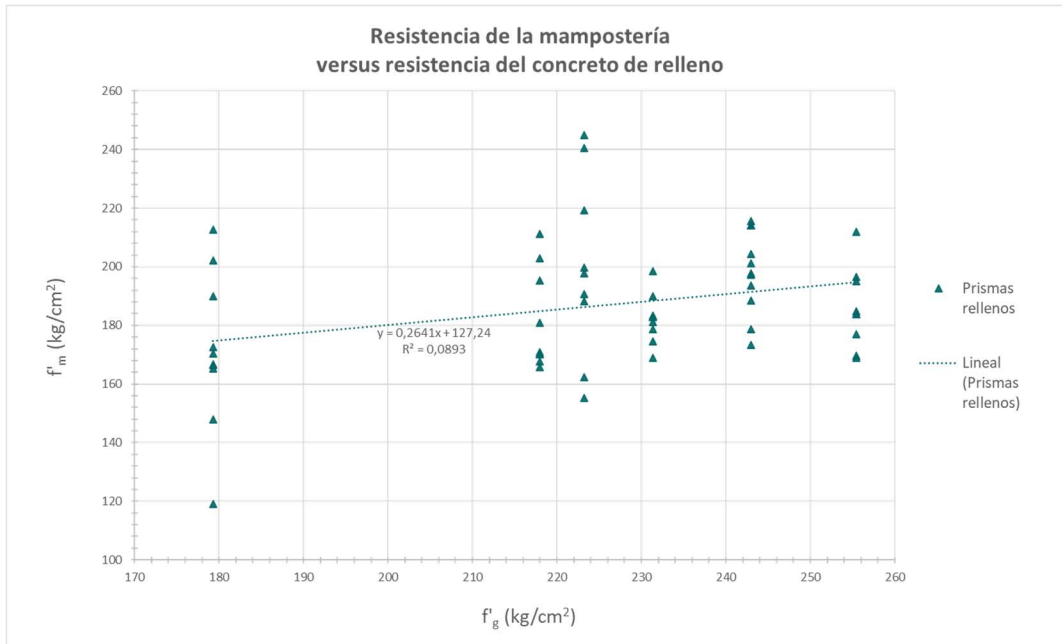


Figura 61. Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del concreto de relleno en prismas rellenos

#### 7.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD

En esta sección se presenta el análisis de la variación de la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  versus la resistencia del bloque  $f'_b$ , tanto para las resistencias esperadas como para las obtenidas experimentalmente.

Para verificar el cumplimiento de la relación  $f'_b > f'_m$ , se calculó el factor de eficiencia para cada prisma como  $f'_m/f'_b \leq 1$ . Del total de los 117 prismas analizados se obtuvo un valor promedio del factor de eficiencia de 0.97, lo que indica el cumplimiento de la muestra. Sin embargo, cabe destacar que 42 prismas (un 36 %) no cumplieron la relación  $f'_b > f'_m$  y por lo tanto presentaron un factor de eficiencia mayor a 1, Esto se atribuye a la alta variabilidad de las resistencias de los bloques como se detalla en esta sección.

##### 7.4.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE

Tal como se detalla en la sección 6.1.2, para esta investigación se plantearon 3 resistencias esperadas de bloques, sin embargo, su producción implicaba 9 diseños de mezcla en el equipo de fabricación, uno para cada tamaño de bloque y cada resistencia esperada, lo que dio como resultado 9 resistencias experimentales que se detallan en la **Tabla 21**.

**Tabla 21.** Resistencia de los bloques  $f'_{b \text{ experimental}}$  versus la resistencia  $f'_{b \text{ esperada}}$  y tamaño de bloque

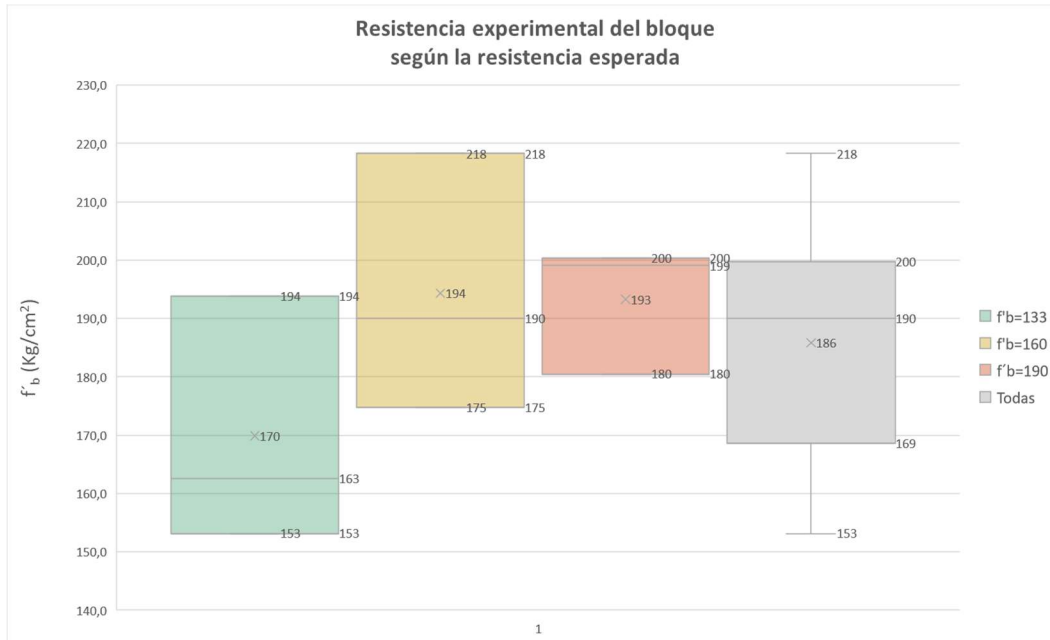
Grupo $f'_m$	$f'_b = 133$	$f'_b = 160$	$f'_b = 190$	$f'_{b \text{ esperada}}$	% dif exp/esp
20 cm	153.14			133	15%
15 cm	193.88			133	46%
12 cm	162.58			133	22%
20 cm		189.99		160	19%
15 cm		218.29		160	36%
12 cm		174.71		160	9%
20 cm			199.08	190	5%
15 cm			200.35	190	5%
12 cm			180.46	190	5%
<b>promedio</b>	169.86	194.33	193.30		
<b>% dif exp/esp</b>	28%	21%	2%		
<b>coeficiente variación</b>	13%	11%	6%		

La **Tabla 22** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_b$  experimental versus la resistencia  $f'_b$  esperada y se tiene que:

- El grupo  $f'_b = 133$  presentó un **promedio** ( $170 \text{ kg/cm}^2$ ) 28 % mayor que el esperado y el grupo  $f'_b = 190$  ( $194 \text{ kg/cm}^2$ ) solo 2 % menor que el esperado, ya que se fabricaron con un diseño de mezcla que permitió alcanzar resistencias experimentales mucho más cercanas al valor esperado.
- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo  $f'_b = 133$  con un valor de 13 % y un valor mínimo en el grupo  $f'_b = 190$  de 6 %.
- Del análisis de varianza con el método Anova se tiene que, no existen diferencias significativas. Sin embargo, con el método de Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas** en los promedios debido a que las resistencias  $f'_b = 133$ , tienen un promedio inferior al promedio obtenido en los grupos de  $f'_b = 160$  y  $f'_b = 190$ . Las mayores se presentaron en la relación los grupos de resistencia (133)/(160) y las menores en (160)/(190) Esto se aprecia en la **Figura 62**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos**.

**Tabla 22.** Resumen estadístico para  $f'_b$  experimental versus la resistencia  $f'_b$  esperada

Bloque <i>f'_b experimental versus f'_b esperada</i>	
Cantidad de grupos	3
Promedio por grupo ( $\text{kg/cm}^2$ )	Mayor: (160) = 194 Menor: (133) = 170
% diferencia promedio experimental del grupo y valor esperado	Mayor: (133) = 28% Menor: (190) = 2%
Coeficiente de variación por grupo	Mayor: (133) = 13% Menor: (190) = 6%
Diferencias significativas	Método Anova: No hay Diferencias Mayor diferencia (133) / (160) Método Tukey: Menor diferencia (160) / (190)
Valores atípicos por set ( $\text{kg/cm}^2$ )	Método Box Plot: No hay atípicos



**Figura 62.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia experimental del bloque versus la resistencia esperada

Cabe destacar que cada dato de resistencia de bloque analizado representa el promedio de resistencia de 3 bloques, tal como lo especifica la norma INTE C50 / ASTM C140. El promedio de todos los tríos de resistencias  $f'_b$  alcanza una varianza de 411 y un coeficiente de variación del 11 %, que se explica en gran parte porque en el proceso de fabricación de los bloques, los bloques colados en el perímetro del molde alcanzan menor resistencia respecto a los del centro, debido a las variables de compactación y vibrado de los equipos.

Estos resultados ponen en evidencia la variabilidad relativamente alta de la resistencia experimental de los bloques, que impacta en el 36 % de prismas que no cumplen la relación  $f'_m \leq f'_b$  y presentaron un factor de eficiencia mayor a 1.

#### 7.4.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_b$ esperada

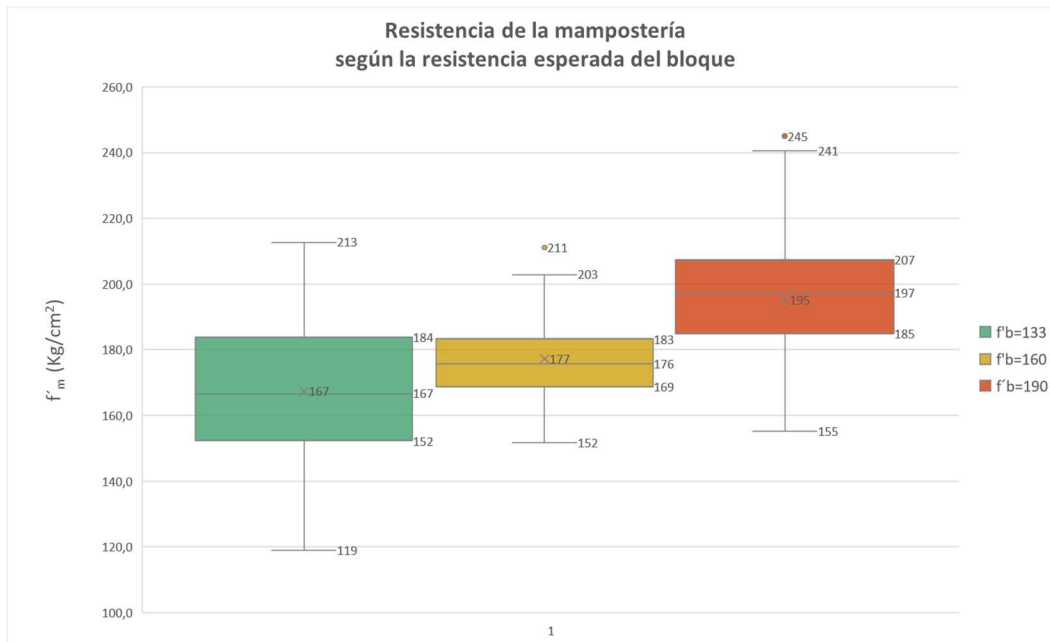
La **Tabla 23** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_b$  esperada y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo  $f'_b = 133$  con un valor de 13 % y un valor mínimo en el grupo  $f'_b = 160$  de 7 %.
- Del análisis de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas**, principalmente en la relación con el grupo de prismas  $f'_b = 190$ . Las mayores diferencias se presentaron en la relación de promedios de los grupos de resistencia (133)/(190) y las menores en los grupos de resistencia (133)/(160). Esto se aprecia en la **Figura 63**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtienen 2 **valores atípicos** 160-15-S-G, 190-15-N-G. Esto se aprecia de manera gráfica en la **Figura 63**.

**Tabla 23.** Resumen estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_b$  esperada

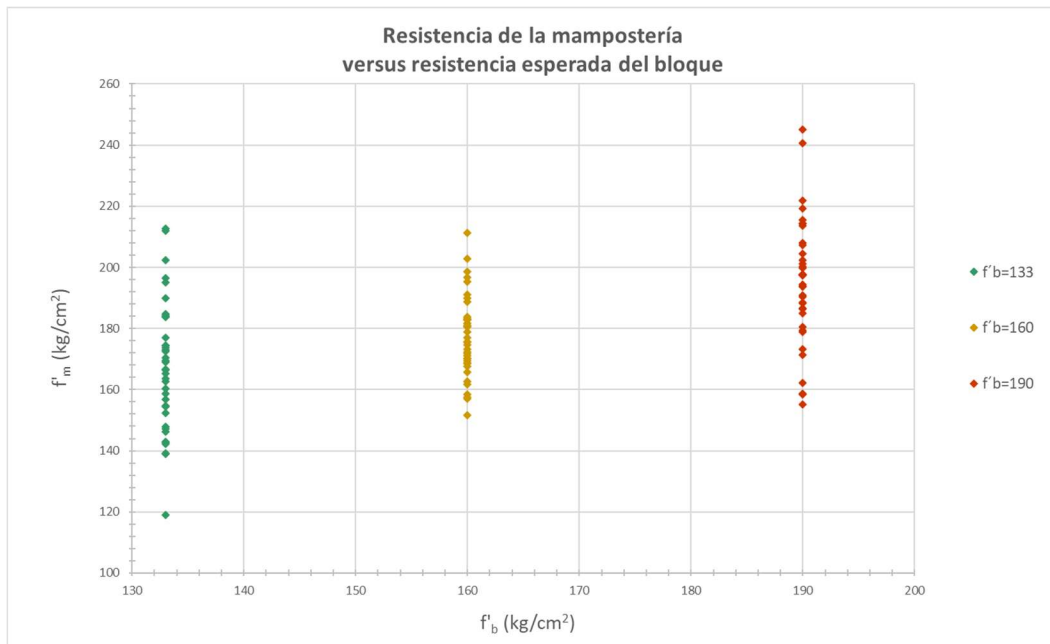
Bloque <i>f'_m</i> versus <i>f'_b</i> esperada	
Cantidad de grupos	3
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (190) = 195 Menor: (133) = 167
Coefficiente de variación por grupo	Mayor: (133) = 13% Menor: (160) = 7%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Mayor diferencia (133) / (190) Método Tukey: Menor diferencia (133) / (160)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: (160-15-S-G) = 211 (190-15-N-G) = 245

Teniendo en cuenta que las cajas agrupan los valores entre el percentil 25 y 75 de los datos y el punto central indica el valor promedio, en este gráfico también se aprecia un incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_b$  esperada. Este **incremento** es de **6 %** al aumentar de  $f'_b = 133$  a  $f'_b = 160$  y de **10 %** al aumentar de  $f'_b = 160$  a  $f'_b = 190$ .



**Figura 63.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus la resistencia esperada del bloque

En la **Figura 64** se observa la variación de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  para cada resistencia esperada de los bloques  $f'_b$ , se aprecia la tendencia al incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_b$  esperada. También se observa que el grupo  $f'_b = 160$  tuvo una menor varianza y sus resultados fueron más consistentes.



**Figura 64.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia esperada del bloque

### 7.4.3. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_b$ experimental

La **Tabla 24** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_b$  experimental Y se tiene que:

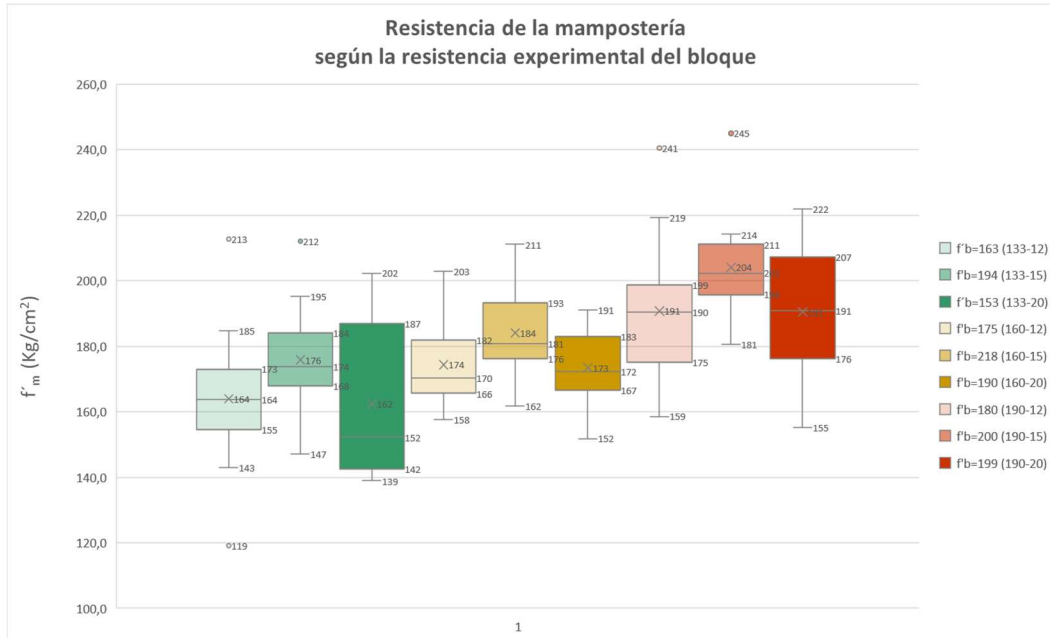
- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo en el grupo  $f'_b = 133 - 20$  con un valor de 14 % y un valor mínimo en el grupo  $f'_b = 160 - 20$  de 6 %.
- Del análisis de varianza con el método Anova se tiene que, no existen diferencias significativas. Sin embargo, con el método de Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas** en los promedios de casi todas las combinaciones. Las mayores se presentaron en la relación de promedios de los grupos de resistencia (133-20)/(190-15) y las menores en los grupos de resistencia (160-20)/(160-12). Esto se aprecia en la **Figura 65**.
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtienen 5 **valores atípicos** en los grupos 133-12-S-G, 133-15-N-G, 190-12-N-G, 190-15-N-G. Esto se aprecia en la **Figura 65**.

**Tabla 24.** Resumen estadístico para  $f'_m$  versus la resistencia  $f'_b$  experimental

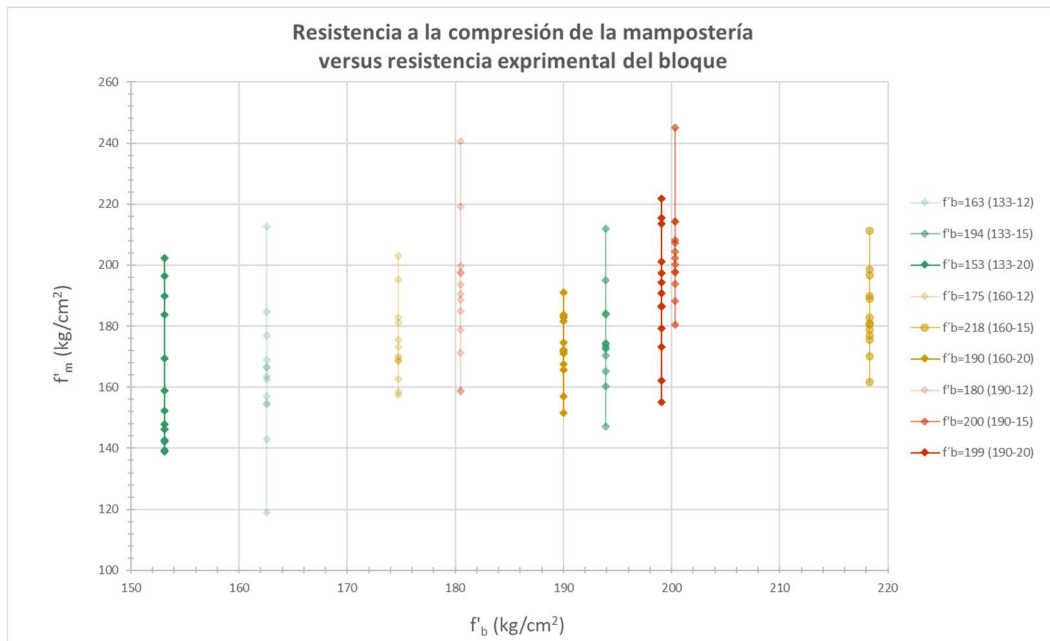
Bloque $f'_m$ versus $f'_b$ experimental	
Cantidad de grupos	9
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (190-15) = 204 Menor: (133-20) = 162
Coeficiente de variación por grupo	Mayor: (133-20) = 14% Menor: (160-20) = 6%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Mayor diferencia (133-20) / (190-15) Método Tukey: Menor diferencia (160-20) / (160-12)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	(133-12-S-G) = 119 (133-12-S-G) = 213 Método Box Plot: (133-15-N-G) = 212 (190-12-N-G) = 241 (190-15-N-G) = 245

Al observar la tendencia de las cajas y teniendo en cuenta que estas agrupan los valores entre el percentil 25 y 75 de los datos, se observa una tendencia de incremento de  $f'_m$  para cada aumento de  $f'_b$  experimental. Esto se puede ver al comparar las cajas verdes, amarillas y rojas para cada tamaño de bloque de la **Figura 65**. Esto concuerda con Drysdale y Hamid [6] que explica que la resistencia  $f'_m$  de la mampostería parece incrementar linealmente con la resistencia de la unidad  $f'_b$ .

En la **Figura 65** se observa un descenso en la resistencia  $f'_m$  de los prismas de 20 cm, esto se debe a que los bloques de 20 cm presentaron menor resistencia  $f'_b$  que los bloques de 15 cm. Navas (2007) señala la resistencia del bloque tanto a esfuerzos de compresión como de tracción es determinante para la resistencia de la mampostería ya que es el elemento que se encarga de confinar a los demás materiales (mortero y concreto de relleno).



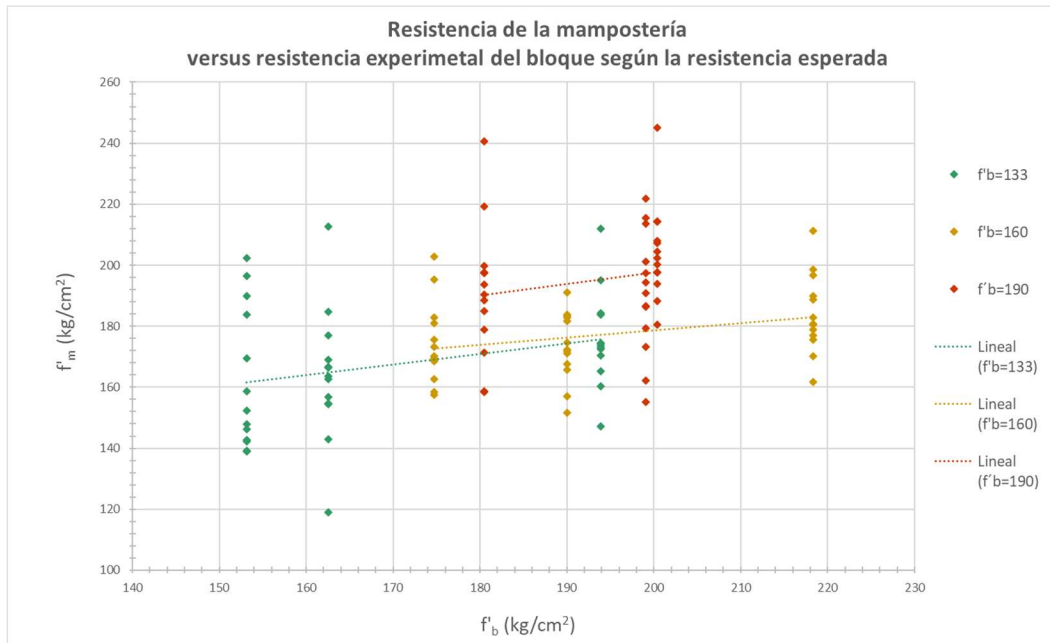
**Figura 65.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus la resistencia experimental del bloque



**Figura 66.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia experimental del bloque

En **Figura 66** se puede apreciar la variación de la resistencia  $f'_m$  respecto a las 9 resistencias experimentales de  $f'_b$ . Cada color es una misma resistencia esperada y su tonalidad varía de acuerdo con el ancho del bloque. Se observa que para una misma resistencia esperada de  $f'_b$  se obtienen resistencias  $f'_m$  muy diferentes en cada batida por tamaño de bloque.

Al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  para cada resistencia de los bloques  $f'_b$  a partir de la **Figura 67**, de la línea de tendencia para cada dispersión de datos clasificados por valor esperado de  $f'_b$ , se observa que las 3 líneas de tendencia muestran pendiente positiva, lo que reitera la tendencia al incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_b$  esperada y coincide con la tendencia de la Figura 3 que describe el estudio de Drysdale y Hamid [6].



**Figura 67.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia experimental del bloque versus la resistencia esperada

## 7.5. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD

En esta sección se presenta un análisis de la influencia de la variación del ancho del bloque  $b$  en la resistencia de la mampostería  $f'_m$ .

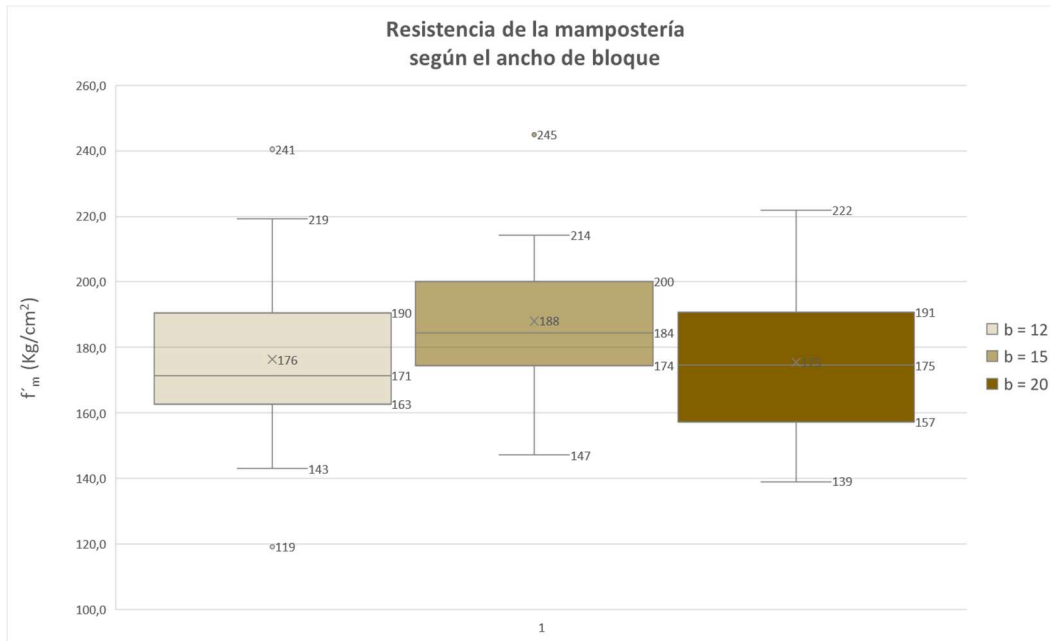
### 7.5.1. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE

La **Tabla 25** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_m$  versus *ancho del bloque* y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo de 13% en el grupo  $b = 12$  y con un valor mínimo de 10% en el grupo  $b = 15$ .
- Del análisis de varianza con los métodos Anova y Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas** con el valor promedio de  $f'_m = 188 \text{ kg/cm}^2$  en el grupo  $b = 15$ , superior al promedio de  $f'_m = 176 \text{ kg/cm}^2$  en el grupo  $b = 12$  y  $f'_m = 175 \text{ kg/cm}^2$  en el grupo  $b = 20$ . Las mayores diferencias se presentaron en la relación de promedios de los grupos de resistencia (15)/(20) y las menores en los grupos de resistencia (12)/(20).
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes se obtienen 3 **valores atípicos** en los sets 133-12-S-G, 190-12-N-G, 190-15-N-G, los mismos valores atípicos obtenidos en el análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  versus  $f'_{mor\ esperada}$ . Esto se aprecia en la **Figura 68**.

**Tabla 25.** Resumen estadístico para  $f'_m$  versus *ancho del bloque*

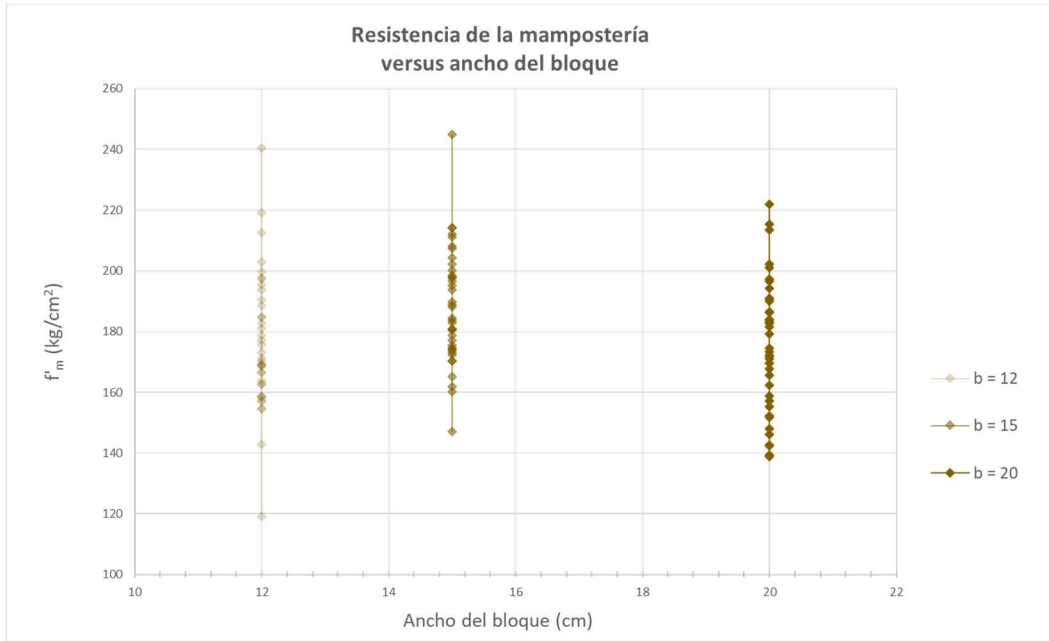
Geometría $f'_m$ versus $b$	
Cantidad de grupos	3
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (15) = 188 Menor: (20) = 175
Coefficiente de variación por grupo	Mayor: (12) = 13% Menor: (15) = 10%
Diferencias significativas	Método Anova: Si hay diferencias Mayor diferencia (15) / (20) Método Tukey: Menor diferencia (12) / (20)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	(133-12-S-G) = 119 Método Box Plot: (190-12-N-G) = 241 (190-15-N-G) = 245



**Figura 68.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia de la mampostería versus el ancho del bloque

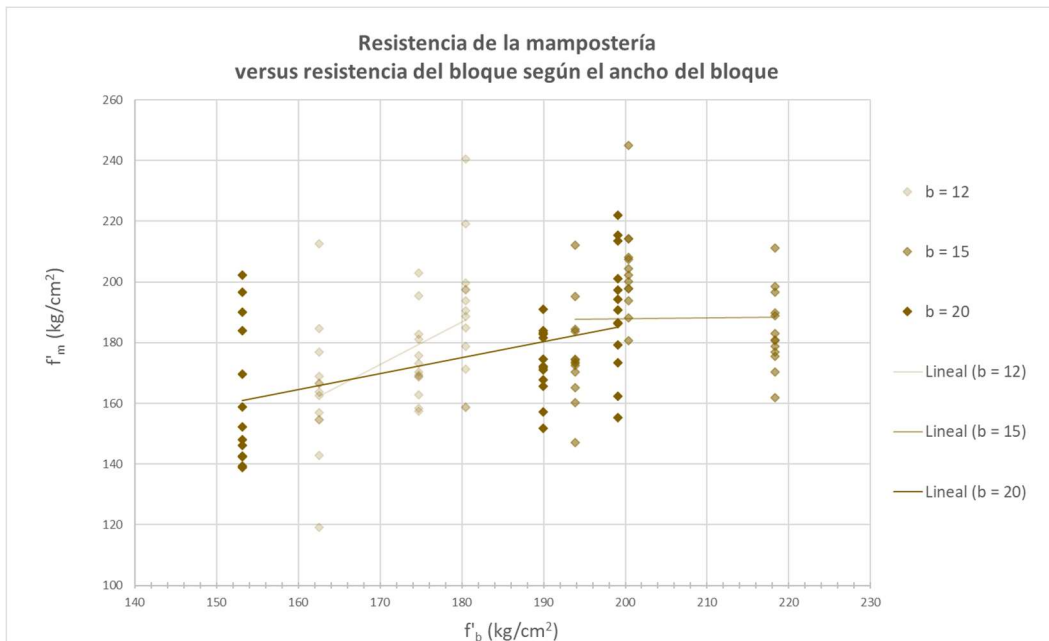
Teniendo en cuenta que las cajas agrupan los valores entre el percentil 25 y 75 de los datos y el punto central indica el valor promedio, en este gráfico se aprecia una tendencia de incremento de  $f'_m$  al aumentar el ancho del bloque de  $b = 12$  a  $b = 15$ . Sin embargo, esta tendencia de incremento no se ve tan clara al aumentar el ancho del bloque de  $b = 15$  a  $b = 20$ . Esto se aprecia en la **Figura 68** y en la **Figura 69**.

Se midió un **incremento** de **7 %** al pasar de  $b = 12$  a  $b = 15$  y una **reducción** de **7 %** al pasar de  $b = 15$  a  $b = 20$ . Esta tendencia coincide con lo planteado por Hamid y Chukwunenye [39] al concluir que el tamaño del bloque no tiene un efecto significativo sobre el comportamiento elástico de los prismas huecos bajo compresión axial.



**Figura 69.** Relación de la resistencia de la mampostería versus ancho del bloque

Al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  para cada ancho de bloque  $f'_b$  en la **Figura 70**, de la línea de tendencia para cada dispersión de datos clasificados por ancho de bloque, se observa que las líneas de los grupos  $b = 12$  y  $b = 20$  muestran pendiente positiva y una clara la tendencia al incremento de  $f'_m$  al aumentar  $f'_b$ . Sin embargo, para el grupo  $b = 15$  la pendiente es casi constante, lo que indica que no hay un claro incremento de  $f'_m$  al aumentar  $b$ .



**Figura 70.** Relación de la resistencia de la mampostería versus la resistencia del bloque versus ancho del bloque

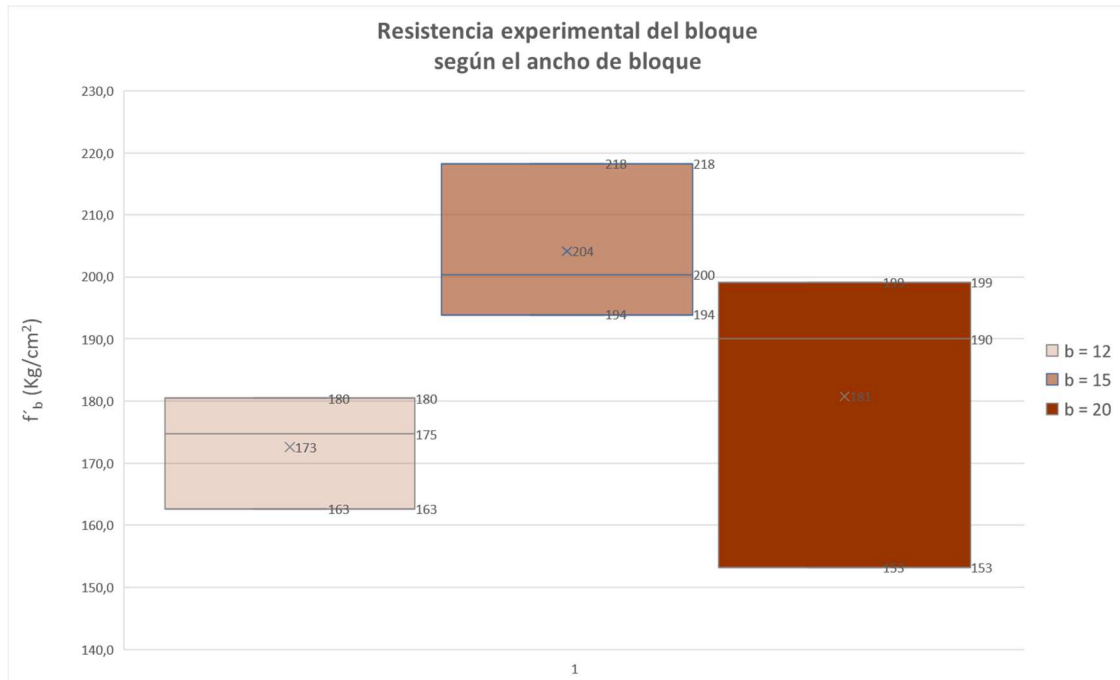
### 7.5.2. ANÁLISIS DE $f'_b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE

La **Tabla 26** presenta un resumen del análisis estadístico para  $f'_b$  versus *ancho del bloque* y se tiene que:

- El rango de **coeficiente de variación** se definió con un valor máximo de 13 % en el grupo  $b = 20$  y un valor mínimo de 5 % en el grupo  $b = 12$ .
- Del análisis de varianza con el método Anova se tiene que, no existen diferencias significativas. Sin embargo, con el método de Tukey se tiene que, sí existen **diferencias significativas** en los promedios de casi todas las combinaciones. Las mayores se presentaron en la relación de promedios de los grupos de resistencia (12)/(15) y las menores en los grupos de resistencia (12)/(20).
- Del análisis estadístico con box plot o cajas y bigotes no se obtienen **valores atípicos**

**Tabla 26.** Resumen estadístico para  $f'_b$  versus *ancho del bloque*

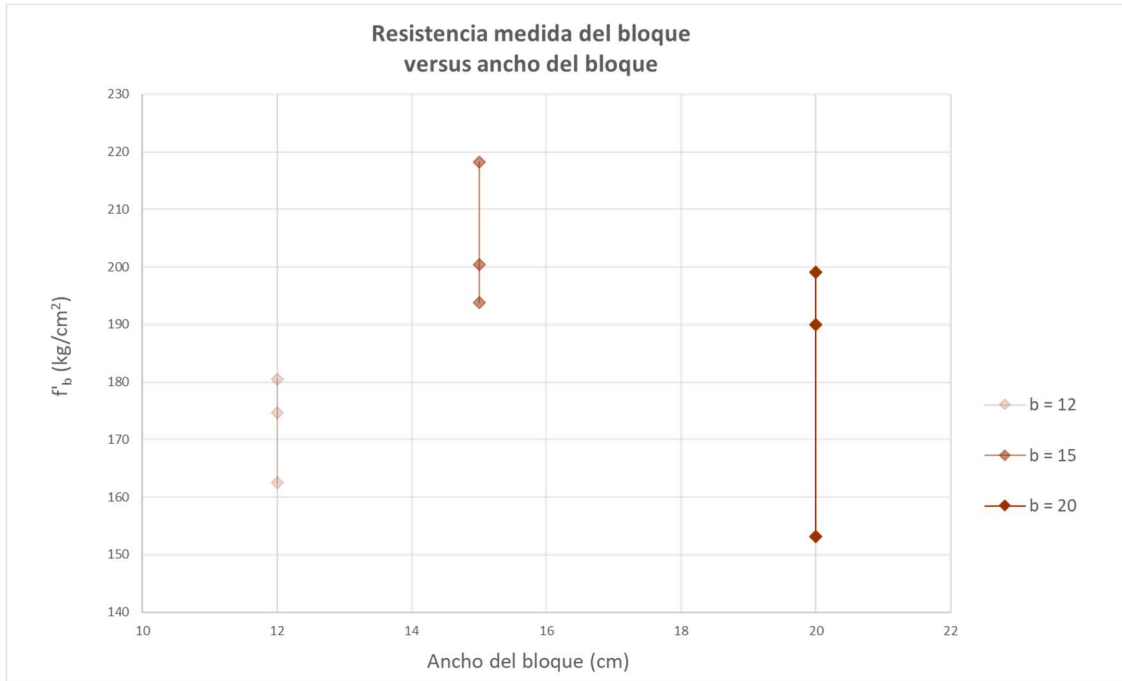
Geometría $f'_b$ versus $b$	
Cantidad de grupos	3
Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor: (15) = 204 Menor: (12) = 173
Coefficiente de variación por grupo	Mayor: (20) = 13% Menor: (12) = 5%
Diferencias significativas	Método Anova: No hay Diferencias Mayor diferencia (12) / (15) Método Tukey: Menor diferencia (12) / (20)
Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	Método Box Plot: No hay atípicos



**Figura 71.** Gráfico de cajas y bigotes para la resistencia experimental del bloque versus el ancho de bloque

En la **Figura 71** se pueden observar los valores promedio de resistencia  $f'_b$  para cada tamaño de bloque. Teniendo en cuenta que cada tamaño de bloque se fabricó para cada una de las 3 resistencias esperadas, los valores promedio de resistencia  $f'_b$  por tamaño bloque se proyectaban similares entre sí y cercanos al promedio  $133 + 160 + 190/3 = 161 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, se presentó una diferencia del promedio de  $f'_b$  por tamaño de bloque experimental respecto al esperado de **7 %** para los bloques de 12 cm, **27 %** para los bloques de 15 cm (alcanzando hasta **31 %** en el set  $f'_b = 133$ ) y **12 %** para los bloques de 20 cm.

Por otro lado, la resistencia de los bloques de 20 cm presentó un valor promedio  $f'_b = 175$ , menor al valor promedio  $f'_b = 188$  de los bloques de 15 cm. Los bloques de 20 cm presentaron un **coeficiente de variación** de  $f'_b$  de **13 %**, mayor que el coeficiente de variación de  $f'_b$  de **5 %** y **6 %** para los anchos de bloque de 12 cm y 15 cm respectivamente. Estos coeficientes de variación difieren de la investigación de Núñez [40] donde obtuvo mayores coeficientes de variación, con valores de 10.5 % y 8.65 % para  $f'_b$  en bloques con anchos de 12 cm y 15 cm respectivamente. Sin embargo, se mantiene la tendencia de aumento de  $f'_b$  al aumentar de 12 cm y 15 cm. Se atribuye un menor coeficiente de variación en los bloques ya que fueron fabricados exclusivamente para esta investigación, no eran parte de un stock de inventario con diferentes días y mezclas de fabricación.



**Figura 72.** Relación de la resistencia de la mampostería versus ancho del bloque

En la **Figura 72** se aprecia que los bloques de 20 cm de ancho presentaron el mayor coeficiente de variación en los resultados de  $f'_b$  y los de 12 cm el menor.

## 8. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones planteadas a partir de los resultados experimentales obtenidos en esta investigación.

### 8.1. $f'_m$ VERSUS $f'_b$ SEGÚN TIPO DE MORTERO Y COMPARACIÓN EL TMS

- Con el objetivo de desarrollar una correlación entre la resistencia a la compresión de la mampostería y la resistencia individual del mortero y del bloque, se plantean dos ecuaciones para generar una tabla análoga a la Tabla 2 del apartado 1.4.B.2.b del TMS 402/602-2022 [2], las cuales se ilustran en la **Figura 43** como líneas de tendencia al 95 % para la dispersión de datos obtenidos experimentalmente clasificados por tipo de mortero.

$$f'_m = 0.45f'_b + 58.3 \quad \text{Mortero S} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f'_m = 0.38f'_b + 75.3 \quad \text{Mortero N} \quad \text{Ecuación 6}$$

A partir de la **Ecuación 5** para morteros S y de la **Ecuación 6** para morteros N, se elaboró la **Tabla 10** que se muestra a continuación, análoga a Tabla 2 del TMS 402/602-2022 [2]. Los valores en gris claro se obtuvieron a partir de la **Ecuación 5** y **Ecuación 6**, no corresponden a valores de resistencia de bloque presentes en la muestra ensayada en esta investigación.

**Tabla 10.** Propuesta de tabla de resistencia a la compresión para diferentes tipos de mortero

<b>Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado</b>		
Resistencia a la compresión por área neta de mampostería de concreto kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) kg/cm <sup>2</sup>	
	Mortero M o S	Mortero N
100	92	65
120	136	118
140	180	170
160	224	223
180	268	276
200	312	328

- Adicionalmente en la **Figura 45** se plantea una única ecuación para generar la correlación sin hacer distinción del tipo de mortero.

$$f'_m = 0.42f'_b + 66.9$$

**Ecuación 7**

A partir de la **Ecuación 7**, se elaboró la **Tabla 11**, esta vez, sin hacer distinción al tipo de mortero. Los valores en gris claro se obtuvieron a partir de la **Ecuación 7**, no corresponden a valores de resistencia de bloque presentes en la muestra ensayada en esta investigación.

**Tabla 11.** Propuesta de tabla de resistencia a la compresión sin distinción de tipo de mortero

Resistencia a la compresión de la mampostería basada en la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de concreto y el tipo de mortero utilizado	
Resistencia a la compresión por área neta de mampostería de concreto kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de compresión del área neta de las unidades de mampostería de concreto (ASTM C90) kg/cm <sup>2</sup>
	Mortero M-S-N
100	78
120	126
140	173
160	220
180	268
200	315

- Para ambas propuestas, la línea de tendencia al 95 % de los resultados obtenidos se ubica entre los valores definidos por las líneas de tendencia correspondientes al TMS 402/602-2022 [2].

## 8.2. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EL FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MORTERO

- La resistencia a la compresión del mortero  $f'_{mor}$  presentó menores las varianzas de la investigación, con valores de 2% y 5%.
- Al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  en función de la resistencia del mortero  $f'_{mor}$  se observó una reducción de  $f'_m$  al aumentar  $f'_{mor}$ . Excepto en los prismas huecos y en los prismas rellenos construidos con bloques de alta resistencia  $f'_b$  en promedio de 193 kg/cm<sup>2</sup> y concretos de relleno con resistencias  $f'_g$  en promedio un 22% mayores a  $f'_b$ .

### 8.3. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DEL PATRÓN DE RELLENO Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RELLENO

- Del análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  según el patrón de relleno, se observó que en los prismas rellenos presentan una resistencia  $f'_m$  en promedio 8 % mayor que los prismas los huecos. Esto se atribuye a la compatibilidad de deformaciones entre bloque y el concreto de relleno debida a que la resistencia del concreto de relleno  $f'_g$  fue en promedio un 22 % mayor que la resistencia del bloque  $f'_b$ , sumado a las propiedades de los aditivos de la mezcla preempacada, los cuales brindaron mayor cohesión y menor contracción plástica y relaciones de poisson de mayor similitud, reduciendo fuerzas laterales en la interfaz que inducen grietas y por ende fallas.
- Del análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  en los prismas huecos, se tiene que  $f'_m$  aumenta al incrementar la resistencia del mortero  $f'_{mor}$ . Por otro lado, se tiene que  $f'_m$  también aumentó cuando se aumentó la resistencia del bloque  $f'_b$ . Además, se observó que para resistencias de bloque  $f'_b$  cercanas a 220 kg/cm<sup>2</sup>, los valores de  $f'_m$  de los prismas huecos y rellenos convergen.
- Al analizar la resistencia de la mampostería  $f'_m$  en los prismas rellenos, se tiene que en términos generales  $f'_m$  disminuye al incrementar la resistencia del mortero  $f'_{mor}$ , con excepción en los prismas rellenos construidos con bloques de alta resistencia  $f'_b$  en promedio de 193 kg/cm<sup>2</sup> y concretos de relleno con resistencias  $f'_g$  en promedio un 22% mayores a  $f'_b$ . Por otro lado, en los prismas rellenos,  $f'_m$  aumentó al incrementar la resistencia del bloque  $f'_b$ . Además,  $f'_m$  aumentó al incrementar la resistencia del concreto de relleno  $f'_g$ .
- Del análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  en función de la resistencia del concreto de relleno  $f'_g$ , se evidencia una tendencia de incremento en  $f'_m$  al aumentar la resistencia  $f'_g$ .

### 8.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD

- Del análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  en función de la resistencia del bloque  $f'_b$ , se observó que  $f'_m$  aumenta al incrementar  $f'_b$ .
- Este incremento fue de 6 % al aumentar de  $f'_b = 133$  a  $f'_b = 160$  y de 10 % al aumentar de  $f'_b = 160$  a  $f'_b = 190$  las resistencias esperadas del bloque.

### 8.5. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD

- Del análisis de la resistencia de la mampostería  $f'_m$  según el ancho de bloque, se aprecia una tendencia de incremento de  $f'_m$  al aumentar el ancho del bloque de  $b = 12$  a  $b = 15$ . Sin embargo, esta tendencia de incremento no se ve tan clara al aumentar el ancho del bloque de  $b = 15$  a  $b = 20$ . Cuantitativamente, se midió un incremento de 7 % al pasar de  $b = 12$  a  $b = 15$  y una reducción de 7 % al pasar de  $b = 15$  a  $b = 20$ .
- Del análisis de la resistencia del bloque  $f'_b$  por ancho de bloque, no se observó una clara tendencia que relacione ambas resistencias.

## 9. RECOMENDACIONES

---

### 9.1. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

- Con el fin de ampliar las variables de estudio a nivel nacional y así tener una muestra aún más representativa, se recomienda ampliar la base de datos generada en esta investigación a partir de resultados medidos con:
  - Bloques y morteros de otros fabricantes
  - Concretos de relleno colados en sitio
  - Bloques con resistencia a la compresión cercanas a  $133 \text{ kg/cm}^2$  para ampliar la dispersión de datos con valores que no se obtuvieron experimentalmente en este estudio.
- Realizar un estudio analítico que tome como base esta investigación y que sume los resultados obtenidos en otras tesis de licenciatura y resultados de ensayos del LanammeUCR, con el fin de ampliar el tamaño de muestra del análisis y así brindar mayor confiabilidad y sustento técnico al cambio de metodología para el cálculo de la resistencia a la compresión de la mampostería del CSCR.
- Realizar estudios de confiabilidad de la resistencia de la mampostería y sus componentes a nivel nacional, para verificar la representatividad de los estudios que se realizan de manera experimental.

### 9.2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

- Realizar un estudio experimental sobre los efectos en la resistencia de la mampostería obtenida según el material empleado para el coronamiento de los prismas, entre ellos, yeso-cemento convencional, hydrostone (material de base de yeso de fraguado rápido - high-strength gypsum capping) o material de recubrimiento de azufre derretido, según indica la norma de coronamiento.
- Analizar experimentalmente la influencia en la resistencia a la compresión de la mampostería de la interfaz que se genera entre placas de transmisión de carga de acero, cuando se requiere usar varias para alcanzar el espesor especificado para el ensayo.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] *CSCR 2010-14 Código Sísmico de Costa Rica*. San José Costa Rica, San José Costa Rica: CFIA Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2014.
- [2] *TMS 402/602-2022 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Colorado, USA: TMS The Masonry Standards, 2022.
- [3] International Code Council, Ed., *IBC 2018 International Building Code*. Illinois, USA: ICC International Code Council, 2018, p. 690.
- [4] *ASTM C1314-16 Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2016, pp. 1–10.
- [5] *Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010*. San José Costa Rica, San José, Costa Rica: CFIA Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2013.
- [6] R. G. Drysdale y A. A. Hamid, *Masonry Structures Behavior and Design*, 3 edición. Boulder, USA: TMS The Masonry Society, 2008. doi: 10.1007/978-94-017-7606-6\_3.
- [7] *INTE C55-15 Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2015.
- [8] *ASTM C140/140M-17 Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2017. doi: 10.1520/C0140.
- [9] *ASTM C1716-22 Standard Specification for Compression Testing Machine Requirements for Concrete Masonry Units, Related Units, and Prisms 1*. Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2022. doi: 10.1520/C1716\_C1716M-21.
- [10] A. A. Hamid y R. G. Drysdale, “Suggested Failure Criteria for Grouted Concrete Masonry Under Axial Compression”, *ACI Journal*, pp. 707–721, jun. 1979.
- [11] *INTE C53-14 Práctica para el coronamiento de unidades de mampostería de concreto. Unidades relacionadas y prismas de mampostería para ensayos de compresión*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2014.
- [12] *ASTM C1552-16 Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing 1*. Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2016. doi: 10.1520/C1552-16.
- [13] *INTE C90-17 Unidades de mampostería de concreto estructural. Requisitos*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2017.
- [14] *ASTM C90-16 Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2016. doi: 10.1520/C0090-16A.2.
- [15] *INTE C50-15 Muestreo y método de ensayo de unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2015.
- [16] *INTE C88-17 Concreto de relleno para mampostería. Requisitos*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2017.

- [17] *ASTM C476-18 Standard Specification for Grout for Masonry*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2018. doi: 10.1520/C0476-10.2.
- [18] *INTE C56-17 Concreto de relleno para mampostería. Muestreo y método de ensayo*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2017.
- [19] *ASTM C1019-18 Standard Test Method for Sampling and Testing Grout*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2018.
- [20] *INTE C91-15 Muestreo y método de ensayo de unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas. Método de ensayo*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2015.
- [21] *ASTM C270-14 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2014. doi: 10.1520/C0270-14A.
- [22] *INTE C57-15 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico: Usando especímenes cúbicos de 50 mm. Método de ensayo*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2015.
- [23] *ASTM C109-16 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 in or [50-mm] Cube Specimens )*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2016. doi: 10.1520/C0109.
- [24] *INTE C79-17 Evaluación de morteros para mampostería con y sin refuerzo antes y durante la construcción. Método de ensayo*. Costa Rica, San José, Costa Rica: INTECO, 2017.
- [25] *ASTM C780-17 Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2017. doi: 10.1520/C0780-11.
- [26] A. Navas, “Propiedades Mecánicas de la Mampostería de Concreto”, Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1999.
- [27] Rodríguez R, “Medición de las propiedades estructurales en la mampostería de bloques de concreto rellenos de 15x20x40 cm”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1999.
- [28] Carvajal W, “Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 12x20x40cm”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2000.
- [29] Cascante LP, “Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 20x20x40cm”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2001.
- [30] *ASTM C1532-12 Standard Practice for Selection , Removal , and Shipment of Manufactured Masonry Units and Masonry Specimens from Existing Construction 1*. Pensilvania USA, Pensilvania, USA: ASTM Standards, 2012. doi: 10.1520/C1532.
- [31] “Recalibration of the Unit Strength Method for Verifying Compliance With the Specified Compressive - MR37”, NCMA National Concrete Masonry Association, Virginia, USA, feb. 2012.

- [32] R. M. Bennett, "Proposed Masonry Specified Compressive Strength Requirements", *J ASTM Int*, vol. 7, núm. 2, 2010, doi: 10.1520/JAI102663.
- [33] *TMS 402/602-2013 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Longmont USA, Colorado, USA: TMS The Masonry Standards, 2013.
- [34] *TMS 402/602-2011 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Longmont USA, Colorado, USA: TMS The Masonry Standards, 2011.
- [35] *TMS 402/602-2005 Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures*. Longmont USA, Colorado, USA: TMS The Masonry Standards, 2005.
- [36] *NZS 4230:2004 Design of Reinforced Concrete Masonry Structures*. Wellington Nueva Zelanda, Wellington, Nueva Zelanda: NZS New Zealand Standard, 2004.
- [37] A. Abarca y G. González, "Resistencia de bloques y prismas de mampostería de concreto en Costa Rica Resistencia de bloques y prismas de mampostería de concreto", *Revista Métodos y Materiales*, vol. 5, pp. 28–32, 2017.
- [38] NCMA National Concrete Masonry Association, "Recalibration of the Unit Strength Method for Verifying Compliance With the Specified Compressive - MR37", *NCMA*. NCMA National Concrete Masonry Association, Virginia USA, 2012.
- [39] A. A. Hamid y A. O. Chukwunenye, "Compression Behavior of Concrete", *ASCE Journal of Structural Engineering*, vol. 112, pp. 605–613, 1986, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:3(605).
- [40] B. Núñez, "Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 150 mm de espesor bajo carga axial concéntrica", Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2019.
- [41] C. Vaca, "Curva esfuerzo-deformación de mampostería con bloques de 20x20x40 cm", Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2019.
- [42] F. S. Fonseca, "Strength of Concrete Masonry Prisms Constructed with Non-Traditional Grout and Type M, S, and N Mortars", Brigham Young University, Utah, USA, 2012.
- [43] F. M. Khalaf, A. W. Hendry, y D. R. Fairbairn, "Study of the Compressive Strength of Blockwork Masonry", *ACI Journal*, vol. 91, pp. 367–375, ago. 1994.
- [44] F. M. Khalaf, "Factors Influencing Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms", *MCR Magazine of Concrete Research*, vol. 48, pp. 95–101, 1996.
- [45] F. M. Khalaf, "Blockwork Masonry Compressed in Two Orthogonal Directions", *ASCE Journal of Structural Engineering*, vol. 123, núm. 5, pp. 591–596, 1997.

## ANEXO A. Resultados experimentales

### A.1. RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES POR PRISMA

**Tabla 27.** Resumen de resultados experimentales por prisma

Código de prisma	Factor de corrección de $f'_m$	Resistencia a la compresión de la mampostería	Resistencia a la compresión del mortero (experimental)	Resistencia a la compresión del mortero (esperada)	Resistencia a la compresión del bloque (experimental)	Resistencia a la compresión del bloque (esperada)	Resistencia a la compresión del concreto de relleno (experimental)	Resistencia a la compresión del concreto de relleno (esperada)
		$f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{mor\ experimental}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{mor\ esperada}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{b\ experimental}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{b\ esperada}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{g\ experimental}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{g\ esperada}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
133-20-S	1,00	139,29	120,00	120,00	153,14	133,00		
133-20-S	1,00	142,31	120,00	120,00	153,14	133,00		
133-20-S	1,00	152,28	120,00	120,00	153,14	133,00		
133-15-S	1,05	184,34	120,00	120,00	193,88	133,00		
133-15-S	1,05	174,42	120,00	120,00	193,88	133,00		
133-15-S	1,05	173,73	120,00	120,00	193,88	133,00		
133-12-S	1,09	142,97	120,00	120,00	162,58	133,00		
133-12-S	1,09	156,89	120,00	120,00	162,58	133,00		
133-12-S	1,09	163,66	120,00	120,00	162,58	133,00		
133-20-S-G	1,00	189,96	120,00	120,00	153,14	133,00	179,28	168,00
133-20-S-G	1,00	202,29	120,00	120,00	153,14	133,00	179,28	168,00
133-20-S-G	1,00	147,93	120,00	120,00	153,14	133,00	179,28	168,00
133-15-S-G	1,05	165,18	120,00	120,00	193,88	133,00	179,28	168,00
133-15-S-G	1,05	172,53	120,00	120,00	193,88	133,00	179,28	168,00
133-15-S-G	1,05	170,41	120,00	120,00	193,88	133,00	179,28	168,00
133-12-S-G	1,09	166,50	120,00	120,00	162,58	133,00	179,28	168,00
133-12-S-G	1,08	119,04	120,00	120,00	162,58	133,00	<b>179,28</b>	168,00
133-12-S-G	1,08	166,64	120,00	120,00	162,58	133,00	179,28	168,00
133-12-S-G	1,09	212,68	120,00	120,00	162,58	133,00	<b>179,28</b>	<b>168,00</b>
133-20-N	1,00	142,62	52,11	50,00	153,14	133,00		
133-20-N	1,00	146,24	52,11	50,00	153,14	133,00		
133-20-N	1,02	138,92	52,11	50,00	153,14	133,00		
133-20-N	1,00	158,78	52,11	50,00	153,14	133,00		
133-15-N	1,05	174,46	52,11	50,00	193,88	133,00		
133-15-N	1,05	173,05	52,11	50,00	193,88	133,00		
133-15-N	1,05	147,06	52,11	50,00	193,88	133,00		
133-15-N	1,05	160,23	52,11	50,00	193,88	133,00		
133-12-N	1,09	162,66	52,11	50,00	162,58	133,00		
133-12-N	1,09	154,67	52,11	50,00	162,58	133,00		
133-12-N	1,09	154,52	52,11	50,00	162,58	133,00		
133-20-N-G	1,00	169,57	52,11	50,00	153,14	133,00	<b>255,40</b>	168,00
133-20-N-G	1,00	183,86	52,11	50,00	153,14	133,00	255,40	168,00

133-20-N-G	1,00	196,54	52,11	50,00	153,14	133,00	255,40	168,00
133-15-N-G	1,05	195,15	52,11	50,00	193,88	133,00	255,40	168,00
133-15-N-G	1,05	212,01	52,11	50,00	193,88	133,00	255,40	168,00
133-15-N-G	1,05	183,75	52,11	50,00	193,88	133,00	255,40	168,00
133-12-N-G	1,09	184,75	52,11	50,00	162,58	133,00	<b>255,40</b>	168,00
133-12-N-G	1,09	177,01	52,11	50,00	162,58	133,00	<b>255,40</b>	168,00
133-12-N-G	1,09	168,99	52,11	50,00	162,58	133,00	<b>255,40</b>	168,00
160-20-S	1,00	183,88	122,18	120,00	189,99	160,00		
160-20-S	1,00	172,29	122,18	120,00	189,99	160,00		
160-20-S	1,00	191,03	122,18	120,00	189,99	160,00		
160-20-S	1,00	181,65	122,18	120,00	189,99	160,00		
160-15-S	1,05	161,81	122,18	120,00	218,29	160,00		
160-15-S	1,02	177,02	122,18	120,00	218,29	160,00		
160-15-S	1,05	196,64	122,18	120,00	218,29	160,00		
160-15-S	1,04	182,92	122,18	120,00	218,29	160,00		
160-12-S	1,09	173,20	122,18	120,00	174,71	160,00		
160-12-S	1,09	162,72	122,18	120,00	174,71	160,00		
160-12-S	1,09	158,46	122,18	120,00	174,71	160,00		
160-20-S-G	1,00	165,71	122,18	120,00	189,99	160,00	217,99	210,00
160-20-S-G	1,00	167,68	122,18	120,00	189,99	160,00	217,99	210,00
160-20-S-G	1,00	171,01	122,18	120,00	189,99	160,00	217,99	210,00
160-15-S-G	1,05	180,85	122,18	120,00	218,29	160,00	217,99	210,00
160-15-S-G	1,04	170,23	122,18	120,00	218,29	160,00	217,99	210,00
160-15-S-G	1,04	211,15	122,18	120,00	218,29	160,00	217,99	210,00
160-12-S-G	1,09	202,91	122,18	120,00	174,71	160,00	217,99	210,00
160-12-S-G	1,09	195,36	122,18	120,00	174,71	160,00	217,99	210,00
160-12-S-G	1,09	170,24	122,18	120,00	174,71	160,00	217,99	210,00
160-20-N	1,00	171,84	53,47	50,00	189,99	160,00		
160-20-N	1,00	151,70	53,47	50,00	189,99	160,00		
160-20-N	1,00	157,12	53,47	50,00	189,99	160,00		
160-15-N	1,05	175,50	53,47	50,00	218,29	160,00		
160-15-N	1,05	180,57	53,47	50,00	218,29	160,00		
160-15-N	1,05	188,85	53,47	50,00	218,29	160,00		
160-12-N	1,09	169,43	53,47	50,00	174,71	160,00		
160-12-N	1,09	168,60	53,47	50,00	174,71	160,00		
160-12-N	1,09	175,66	53,47	50,00	174,71	160,00		
160-12-N	1,09	157,51	53,47	50,00	174,71	160,00		
160-20-N-G	1,00	183,27	53,47	50,00	189,99	160,00	231,33	210,00
160-20-N-G	1,00	182,81	53,47	50,00	189,99	160,00	231,33	210,00
160-20-N-G	1,00	174,54	53,47	50,00	189,99	160,00	231,33	210,00
160-15-N-G	1,05	198,49	53,47	50,00	218,29	160,00	231,33	210,00
160-15-N-G	1,05	178,83	53,47	50,00	218,29	160,00	231,33	210,00
160-15-N-G	1,05	189,85	53,47	50,00	218,29	160,00	231,33	210,00

160-12-N-G	1,09	182,77	53,47	50,00	174,71	160,00	231,33	210,00
160-12-N-G	1,09	168,86	53,47	50,00	174,71	160,00	231,33	210,00
160-12-N-G	1,09	181,09	53,47	50,00	174,71	160,00	231,33	210,00
190-20-S	1,00	213,61	112,04	120,00	199,08	190,00		
190-20-S	0,99	221,91	112,04	120,00	199,08	190,00		
190-20-S	1,00	194,28	112,04	120,00	199,08	190,00		
190-15-S	1,05	200,14	112,04	120,00	200,35	190,00		
190-15-S	1,05	208,08	112,04	120,00	200,35	190,00		
190-15-S	1,05	202,32	112,04	120,00	200,35	190,00		
190-12-S	1,09	197,68	112,04	120,00	180,46	190,00		
190-12-S	1,09	184,86	112,04	120,00	180,46	190,00		
190-12-S	1,09	190,48	112,04	120,00	180,46	190,00		
190-20-S-G	1,00	173,29	112,04	120,00	199,08	190,00	242,98	210,00
190-20-S-G	1,00	201,11	112,04	120,00	199,08	190,00	242,98	210,00
190-20-S-G	1,00	215,50	112,04	120,00	199,08	190,00	242,98	210,00
190-15-S-G	1,05	197,75	112,04	120,00	200,35	190,00	242,98	210,00
190-15-S-G	1,05	214,23	112,04	120,00	200,35	190,00	242,98	210,00
190-15-S-G	1,05	214,21	112,04	120,00	200,35	190,00	242,98	210,00
190-15-S-G	1,05	204,37	112,04	120,00	200,35	190,00	242,98	210,00
190-12-S-G	1,09	193,70	112,04	120,00	180,46	190,00	242,98	210,00
190-12-S-G	1,09	197,41	112,04	120,00	180,46	190,00	242,98	210,00
190-12-S-G	1,09	178,82	112,04	120,00	180,46	190,00	242,98	210,00
190-12-S-G	1,09	188,60	112,04	120,00	180,46	190,00	242,98	210,00
190-20-N	1,00	186,51	51,90	50,00	199,08	190,00		
190-20-N	1,00	186,35	51,90	50,00	199,08	190,00		
190-20-N	1,00	179,23	51,90	50,00	199,08	190,00		
190-20-N	1,00	197,42	51,90	50,00	199,08	190,00		
190-15-N	1,05	193,82	51,90	50,00	200,35	190,00		
190-15-N	1,05	180,59	51,90	50,00	200,35	190,00		
190-15-N	1,05	207,35	51,90	50,00	200,35	190,00		
190-12-N	1,09	158,56	51,90	50,00	180,46	190,00		
190-12-N	1,09	158,79	51,90	50,00	180,46	190,00		
190-12-N	1,09	171,30	51,90	50,00	180,46	190,00		
190-20-N-G	1,00	162,29	51,90	50,00	199,08	190,00	223,22	210,00
190-20-N-G	1,00	155,20	51,90	50,00	199,08	190,00	223,22	210,00
190-20-N-G	1,00	190,78	51,90	50,00	199,08	190,00	223,22	210,00
190-15-N-G	1,05	197,73	51,90	50,00	200,35	190,00	223,22	210,00
190-15-N-G	1,05	188,25	51,90	50,00	200,35	190,00	223,22	210,00
190-15-N-G	1,05	245,02	51,90	50,00	200,35	190,00	223,22	210,00
190-12-N-G	1,09	240,51	51,90	50,00	180,46	190,00	223,22	210,00
190-12-N-G	1,09	199,75	51,90	50,00	180,46	190,00	223,22	210,00
190-12-N-G	1,09	219,22	51,90	50,00	180,46	190,00	223,22	210,00

## A.2. RESUMEN DE VERIFICACIONES

**Tabla 28.** Verificaciones para  $f'_{mor}$

Código de prisma	Resistencia a la compresión del mortero (experimental) $f'_{mor\ experimental}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión del mortero (esperada) $f'_{mor\ esperada}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	% diferencia $\frac{f'_{mor\ experimental}}{f'_{mor\ esperada}}$
133-20-S	120,00	120,00	0%
133-20-S	120,00	120,00	0%
133-20-S	120,00	120,00	0%
133-15-S	120,00	120,00	0%
133-15-S	120,00	120,00	0%
133-15-S	120,00	120,00	0%
133-12-S	120,00	120,00	0%
133-12-S	120,00	120,00	0%
133-12-S	120,00	120,00	0%
133-20-S-G	120,00	120,00	0%
133-20-S-G	120,00	120,00	0%
133-20-S-G	120,00	120,00	0%
133-15-S-G	120,00	120,00	0%
133-15-S-G	120,00	120,00	0%
133-15-S-G	120,00	120,00	0%
133-12-S-G	120,00	120,00	0%
133-12-S-G	120,00	120,00	0%
133-12-S-G	120,00	120,00	0%
133-12-S-G	120,00	120,00	0%
133-20-N	52,11	50,00	4%
133-20-N	52,11	50,00	4%
133-20-N	52,11	50,00	4%
133-20-N	52,11	50,00	4%
133-15-N	52,11	50,00	4%
133-15-N	52,11	50,00	4%
133-15-N	52,11	50,00	4%
133-15-N	52,11	50,00	4%
133-12-N	52,11	50,00	4%
133-12-N	52,11	50,00	4%
133-12-N	52,11	50,00	4%
133-20-N-G	52,11	50,00	4%
133-20-N-G	52,11	50,00	4%
133-20-N-G	52,11	50,00	4%
133-15-N-G	52,11	50,00	4%
133-15-N-G	52,11	50,00	4%

133-15-N-G	52,11	50,00	4%
133-12-N-G	52,11	50,00	4%
133-12-N-G	52,11	50,00	4%
133-12-N-G	52,11	50,00	4%
160-20-S	122,18	120,00	2%
160-20-S	122,18	120,00	2%
160-20-S	122,18	120,00	2%
160-20-S	122,18	120,00	2%
160-15-S	122,18	120,00	2%
160-15-S	122,18	120,00	2%
160-15-S	122,18	120,00	2%
160-15-S	122,18	120,00	2%
160-12-S	122,18	120,00	2%
160-12-S	122,18	120,00	2%
160-12-S	122,18	120,00	2%
160-20-S-G	122,18	120,00	2%
160-20-S-G	122,18	120,00	2%
160-20-S-G	122,18	120,00	2%
160-15-S-G	122,18	120,00	2%
160-15-S-G	122,18	120,00	2%
160-15-S-G	122,18	120,00	2%
160-12-S-G	122,18	120,00	2%
160-12-S-G	122,18	120,00	2%
160-12-S-G	122,18	120,00	2%
160-20-N	53,47	50,00	7%
160-20-N	53,47	50,00	7%
160-20-N	53,47	50,00	7%
160-15-N	53,47	50,00	7%
160-15-N	53,47	50,00	7%
160-15-N	53,47	50,00	7%
160-12-N	53,47	50,00	7%
160-12-N	53,47	50,00	7%
160-12-N	53,47	50,00	7%
160-12-N	53,47	50,00	7%
160-20-N-G	53,47	50,00	7%
160-20-N-G	53,47	50,00	7%
160-20-N-G	53,47	50,00	7%
160-15-N-G	53,47	50,00	7%
160-15-N-G	53,47	50,00	7%
160-15-N-G	53,47	50,00	7%
160-12-N-G	53,47	50,00	7%
160-12-N-G	53,47	50,00	7%
160-12-N-G	53,47	50,00	7%

190-20-S	112,04	120,00	-7%
190-20-S	112,04	120,00	-7%
190-20-S	112,04	120,00	-7%
190-15-S	112,04	120,00	-7%
190-15-S	112,04	120,00	-7%
190-15-S	112,04	120,00	-7%
190-12-S	112,04	120,00	-7%
190-12-S	112,04	120,00	-7%
190-12-S	112,04	120,00	-7%
190-20-S-G	112,04	120,00	-7%
190-20-S-G	112,04	120,00	-7%
190-20-S-G	112,04	120,00	-7%
190-15-S-G	112,04	120,00	-7%
190-15-S-G	112,04	120,00	-7%
190-15-S-G	112,04	120,00	-7%
190-15-S-G	112,04	120,00	-7%
190-12-S-G	112,04	120,00	-7%
190-12-S-G	112,04	120,00	-7%
190-12-S-G	112,04	120,00	-7%
190-12-S-G	112,04	120,00	-7%
190-20-N	51,90	50,00	4%
190-20-N	51,90	50,00	4%
190-20-N	51,90	50,00	4%
190-20-N	51,90	50,00	4%
190-15-N	51,90	50,00	4%
190-15-N	51,90	50,00	4%
190-15-N	51,90	50,00	4%
190-12-N	51,90	50,00	4%
190-12-N	51,90	50,00	4%
190-12-N	51,90	50,00	4%
190-20-N-G	51,90	50,00	4%
190-20-N-G	51,90	50,00	4%
190-20-N-G	51,90	50,00	4%
190-15-N-G	51,90	50,00	4%
190-15-N-G	51,90	50,00	4%
190-15-N-G	51,90	50,00	4%
190-12-N-G	51,90	50,00	4%
190-12-N-G	51,90	50,00	4%
190-12-N-G	51,90	50,00	4%

**Tabla 29.** Verificaciones para  $f'_b$

Código de prisma	Resistencia a la compresión de la mampostería	Resistencia a la compresión del bloque (experimental)	Resistencia a la compresión del bloque (esperada)	% diferencia	Verificación	Verificación	% diferencia
	$f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{b\text{ experimental}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{b\text{ esperada}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\frac{f'_{b\text{ experimental}}}{f'_{b\text{ esperada}}}$	$f'_b > f'_m$	$f'_m / f'_b$	$f'_m / f'_b$
133-20-S	139,29	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,91	-9,05%
133-20-S	142,31	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,93	-7,07%
133-20-S	152,28	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,99	-0,56%
133-15-S	184,34	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,95	-4,92%
133-15-S	174,42	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,90	-10,03%
133-15-S	173,73	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,90	-10,39%
133-12-S	142,97	162,58	133,00	22%	f'b > f'm	0,88	-12,06%
133-12-S	156,89	162,58	133,00	22%	f'b > f'm	0,97	-3,49%
133-12-S	163,66	162,58	133,00	22%	!!!	1,01	0,67%
133-20-S-G	189,96	153,14	133,00	15%	!!!	1,24	24,05%
133-20-S-G	202,29	153,14	133,00	15%	!!!	1,32	32,09%
133-20-S-G	147,93	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,97	-3,40%
133-15-S-G	165,18	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,85	-14,80%
133-15-S-G	172,53	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,89	-11,01%
133-15-S-G	170,41	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,88	-12,10%
133-12-S-G	166,50	162,58	133,00	22%	!!!	1,02	2,42%
133-12-S-G	119,04	162,58	133,00	22%	f'b > f'm	0,73	-26,78%
133-12-S-G	166,64	162,58	133,00	22%	!!!	1,02	2,50%
133-12-S-G	212,68	162,58	133,00	22%	!!!	1,31	30,82%
133-20-N	142,62	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,93	-6,87%
133-20-N	146,24	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,95	-4,51%
133-20-N	138,92	153,14	133,00	15%	f'b > f'm	0,91	-9,29%
133-20-N	158,78	153,14	133,00	15%	!!!	1,04	3,68%
133-15-N	174,46	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,90	-10,01%
133-15-N	173,05	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,89	-10,74%
133-15-N	147,06	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,76	-24,15%
133-15-N	160,23	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,83	-17,35%
133-12-N	162,66	162,58	133,00	22%	!!!	1,00	0,05%
133-12-N	154,67	162,58	133,00	22%	f'b > f'm	0,95	-4,86%
133-12-N	154,52	162,58	133,00	22%	f'b > f'm	0,95	-4,96%
133-20-N-G	169,57	153,14	133,00	15%	!!!	1,11	10,73%
133-20-N-G	183,86	153,14	133,00	15%	!!!	1,20	20,06%
133-20-N-G	196,54	153,14	133,00	15%	!!!	1,28	28,34%
133-15-N-G	195,15	193,88	133,00	46%	!!!	1,01	0,66%
133-15-N-G	212,01	193,88	133,00	46%	!!!	1,09	9,35%
133-15-N-G	183,75	193,88	133,00	46%	f'b > f'm	0,95	-5,22%
133-12-N-G	184,75	162,58	133,00	22%	!!!	1,14	13,64%

133-12-N-G	177,01	162,58	133,00	22%	!!!	1,09	8,88%
133-12-N-G	168,99	162,58	133,00	22%	!!!	1,04	3,95%
160-20-S	183,88	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,97	-3,22%
160-20-S	172,29	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,91	-9,32%
160-20-S	191,03	189,99	160,00	19%	!!!	1,01	0,55%
160-20-S	181,65	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,96	-4,39%
160-15-S	161,81	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,74	-25,87%
160-15-S	177,02	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,81	-18,91%
160-15-S	196,64	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,90	-9,92%
160-15-S	182,92	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,84	-16,20%
160-12-S	173,20	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,99	-0,87%
160-12-S	162,72	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,93	-6,87%
160-12-S	158,46	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,91	-9,30%
160-20-S-G	165,71	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,87	-12,78%
160-20-S-G	167,68	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,88	-11,74%
160-20-S-G	171,01	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,90	-9,99%
160-15-S-G	180,85	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,83	-17,15%
160-15-S-G	170,23	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,78	-22,02%
160-15-S-G	211,15	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,97	-3,27%
160-12-S-G	202,91	174,71	160,00	9%	!!!	1,16	16,14%
160-12-S-G	195,36	174,71	160,00	9%	!!!	1,12	11,82%
160-12-S-G	170,24	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,97	-2,56%
160-20-N	171,84	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,90	-9,55%
160-20-N	151,70	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,80	-20,15%
160-20-N	157,12	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,83	-17,30%
160-15-N	175,50	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,80	-19,60%
160-15-N	180,57	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,83	-17,28%
160-15-N	188,85	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,87	-13,49%
160-12-N	169,43	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,97	-3,03%
160-12-N	168,60	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,97	-3,50%
160-12-N	175,66	174,71	160,00	9%	!!!	1,01	0,54%
160-12-N	157,51	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,90	-9,84%
160-20-N-G	183,27	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,96	-3,54%
160-20-N-G	182,81	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,96	-3,78%
160-20-N-G	174,54	189,99	160,00	19%	f'b > f'm	0,92	-8,13%
160-15-N-G	198,49	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,91	-9,07%
160-15-N-G	178,83	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,82	-18,08%
160-15-N-G	189,85	218,29	160,00	36%	f'b > f'm	0,87	-13,03%
160-12-N-G	182,77	174,71	160,00	9%	!!!	1,05	4,61%
160-12-N-G	168,86	174,71	160,00	9%	f'b > f'm	0,97	-3,35%
160-12-N-G	181,09	174,71	160,00	9%	!!!	1,04	3,65%
190-20-S	213,61	199,08	190,00	5%	!!!	1,07	7,30%
190-20-S	221,91	199,08	190,00	5%	!!!	1,11	11,47%

190-20-S	194,28	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,98	-2,41%
190-15-S	200,14	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	1,00	-0,11%
190-15-S	208,08	200,35	190,00	5%	!!!	1,04	3,86%
190-15-S	202,32	200,35	190,00	5%	!!!	1,01	0,98%
190-12-S	197,68	180,46	190,00	-5%	!!!	1,10	9,54%
190-12-S	184,86	180,46	190,00	-5%	!!!	1,02	2,44%
190-12-S	190,48	180,46	190,00	-5%	!!!	1,06	5,55%
190-20-S-G	173,29	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,87	-12,96%
190-20-S-G	201,11	199,08	190,00	5%	!!!	1,01	1,02%
190-20-S-G	215,50	199,08	190,00	5%	!!!	1,08	8,25%
190-15-S-G	197,75	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	0,99	-1,30%
190-15-S-G	214,23	200,35	190,00	5%	!!!	1,07	6,92%
190-15-S-G	214,21	200,35	190,00	5%	!!!	1,07	6,91%
190-15-S-G	204,37	200,35	190,00	5%	!!!	1,02	2,01%
190-12-S-G	193,70	180,46	190,00	-5%	!!!	1,07	7,34%
190-12-S-G	197,41	180,46	190,00	-5%	!!!	1,09	9,39%
190-12-S-G	178,82	180,46	190,00	-5%	f'b > f'm	0,99	-0,91%
190-12-S-G	188,60	180,46	190,00	-5%	!!!	1,05	4,51%
190-20-N	186,51	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,94	-6,31%
190-20-N	186,35	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,94	-6,40%
190-20-N	179,23	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,90	-9,97%
190-20-N	197,42	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,99	-0,83%
190-15-N	193,82	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	0,97	-3,26%
190-15-N	180,59	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	0,90	-9,86%
190-15-N	207,35	200,35	190,00	5%	!!!	1,03	3,49%
190-12-N	158,56	180,46	190,00	-5%	f'b > f'm	0,88	-12,13%
190-12-N	158,79	180,46	190,00	-5%	f'b > f'm	0,88	-12,01%
190-12-N	171,30	180,46	190,00	-5%	f'b > f'm	0,95	-5,07%
190-20-N-G	162,29	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,82	-18,48%
190-20-N-G	155,20	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,78	-22,04%
190-20-N-G	190,78	199,08	190,00	5%	f'b > f'm	0,96	-4,17%
190-15-N-G	197,73	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	0,99	-1,31%
190-15-N-G	188,25	200,35	190,00	5%	f'b > f'm	0,94	-6,04%
190-15-N-G	245,02	200,35	190,00	5%	!!!	1,22	22,30%
190-12-N-G	240,51	180,46	190,00	-5%	!!!	1,33	33,28%
190-12-N-G	199,75	180,46	190,00	-5%	!!!	1,11	10,69%
190-12-N-G	219,22	180,46	190,00	-5%	!!!	1,21	21,48%

Tabla 30. Verificaciones para  $f'_g$

Código de prisma	Resistencia a la compresión de la mampostería $f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión del concreto de relleno (experimental) $f'_{g\ experimental}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión del concreto de relleno (esperada) $f'_{g\ esperada}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	% diferencia $\frac{f'_{g\ experimental}}{f'_{g\ esperada}}$	Verificación $f'_m > 140$	Verificación $f'_g \geq f'_m$	% diferencia $f'_m / f'_g$	% diferencia $f'_g / f'_b$
133-20-S-G	189,96	179,28	168,00	7%	si	!!!	1,06	17%
133-20-S-G	202,29	179,28	168,00	7%	si	!!!	1,13	17%
133-20-S-G	147,93	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,83	17%
133-15-S-G	165,18	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,92	-8%
133-15-S-G	172,53	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,96	-8%
133-15-S-G	170,41	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,95	-8%
133-12-S-G	166,50	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,93	10%
133-12-S-G	119,04	<b>179,28</b>	168,00	7%	FALSO	$f'_g \geq f'_m$	0,66	10%
133-12-S-G	166,64	179,28	168,00	7%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,93	10%
133-12-S-G	212,68	<b>179,28</b>	<b>168,00</b>	<b>7%</b>	si	!!!	<b>1,19</b>	10%
133-20-N-G	169,57	<b>255,40</b>	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,66	67%
133-20-N-G	183,86	255,40	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,72	67%
133-20-N-G	196,54	255,40	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,77	67%
133-15-N-G	195,15	255,40	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,76	32%
133-15-N-G	212,01	255,40	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,83	32%
133-15-N-G	183,75	255,40	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,72	32%
133-12-N-G	184,75	<b>255,40</b>	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,72	57%
133-12-N-G	177,01	<b>255,40</b>	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,69	57%
133-12-N-G	168,99	<b>255,40</b>	168,00	52%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,66	57%
160-20-S-G	165,71	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,76	15%
160-20-S-G	167,68	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,77	15%
160-20-S-G	171,01	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,78	15%
160-15-S-G	180,85	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,83	0%
160-15-S-G	170,23	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,78	0%
160-15-S-G	211,15	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,97	0%
160-12-S-G	202,91	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,93	25%
160-12-S-G	195,36	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,90	25%
160-12-S-G	170,24	217,99	210,00	4%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,78	25%
160-20-N-G	183,27	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,79	22%
160-20-N-G	182,81	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,79	22%
160-20-N-G	174,54	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,75	22%
160-15-N-G	198,49	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,86	6%
160-15-N-G	178,83	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,77	6%
160-15-N-G	189,85	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,82	6%
160-12-N-G	182,77	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,79	32%
160-12-N-G	168,86	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,73	32%
160-12-N-G	181,09	231,33	210,00	10%	si	$f'_g \geq f'_m$	0,78	32%

190-20-S-G	173,29	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,71	22%
190-20-S-G	201,11	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,83	22%
190-20-S-G	215,50	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,89	22%
190-15-S-G	197,75	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,81	21%
190-15-S-G	214,23	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,88	21%
190-15-S-G	214,21	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,88	21%
190-15-S-G	204,37	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,84	21%
190-12-S-G	193,70	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,80	35%
190-12-S-G	197,41	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,81	35%
190-12-S-G	178,82	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,74	35%
190-12-S-G	188,60	242,98	210,00	16%	si	f'g >= f'm	0,78	35%
190-20-N-G	162,29	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,73	12%
190-20-N-G	155,20	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,70	12%
190-20-N-G	190,78	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,85	12%
190-15-N-G	197,73	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,89	11%
190-15-N-G	188,25	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,84	11%
190-15-N-G	245,02	223,22	210,00	6%	si	!!!	1,10	11%
190-12-N-G	240,51	223,22	210,00	6%	si	!!!	1,08	24%
190-12-N-G	199,75	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,89	24%
190-12-N-G	219,22	223,22	210,00	6%	si	f'g >= f'm	0,98	24%

## ANEXO B. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

**Tabla 31.** Resumen de análisis estadístico para cada combinación de las variables en estudio

Variable en estudio	Cantidad de grupos	Promedio por grupo (kg/cm <sup>2</sup> )		Coeficiente de variación por grupo		Diferencias significativas		Valores atípicos por set (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Mayor	Menor	Mayor	Menor	Método Anova	Método Tukey		
Mortero	$f'_{mor\ exp} \text{ versus } f'_{mor\ esp}$	2	(120) = 118	(50) = 52	(50) = 5%	(120) = 2%	Si hay diferencias	(50) / (120)	No hay atípicos
	$f'_m \text{ versus } f'_{mor\ esperada}$	2	(S) = 182	(N) = 178	(S) = 12%	(N) = 12%	No hay Diferencias	No hay Diferencias	(133-12-S-G): 119 (190-12-N-G): 241 (190-15-N-G): 245
	$f'_m \text{ versus } f'_{mor\ experimental}$	6	(190-S) = 200	(133-S) = 165	(133-S) = 14%	(190-S) = 6%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (133-S) / (190-S) (133-N) / (190-S) Menor diferencia (133-S) / (133-N)	(190-15-N-G): 245
Concreto de relleno	$f'_g \text{ exp versus } f'_g \text{ esp}$	2	(210) = 229	(168) = 217	(168) = 25%	(210) = 5%	No hay Diferencias	(168) / (210)	No hay atípicos
	$f'_m \text{ por patrón de relleno}$	2	(rellenos) = 187	(huecos) = 174	(rellenos) = 12%	(huecos) = 11%	Si hay diferencias	(rellenos)/(huecos)	(133-12-S-G) = 119
	$f'_m \text{ de prismas huecos}$	6	(190-S) = 201	(133-N) = 156	(133-S) = 10%	(190-S) = 6%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (133-S) / (190-S) (133-N) / (190-S) Menor diferencia (133-S) / (133-N)	No hay atípicos
	$f'_m \text{ de prismas rellenos}$	6	(190-N) = 200	(133-S) = 171	(133-S) = 16%	(160-N) = 5%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (133-S) / (190-S) (133-S) / (190-N) Menor diferencia (160-S) / (160-N)	No hay atípicos
Bloque	$f'_b \text{ exp versus } f'_b \text{ esp}$	3	(160) = 194	(133) = 170	(133) = 13%	(190) = 6%	No hay Diferencias	Mayor diferencia (133) / (160) Menor diferencia (160) / (190)	No hay atípicos
	$f'_m \text{ versus } f'_b \text{ esperada}$	3	(190) = 195	(133) = 167	(133) = 13%	(160) = 7%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (133) / (190) Menor diferencia (133) / (160)	(160-15-S-G) = 211 (190-15-N-G) = 245
	$f'_m \text{ versus } f'_b \text{ experimental}$	9	(190-15) = 204	(133-20) = 162	(133-20) = 14%	(160-20) = 6%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (133-20) / (190-15) Menor diferencia (160-20) / (160-12)	(133-12-S-G) = 119 (133-12-S-G) = 213 (133-15-N-G) = 212 (190-12-N-G) = 241 (190-15-N-G) = 245
Geometría	$f'_m \text{ versus } b$	3	(15) = 180	(20) = 175	(12) = 13%	(15) = 10%	Si hay diferencias	Mayor diferencia (15) / (20) Menor diferencia (12) / (20)	(133-12-S-G) = 119 (190-12-N-G) = 241 (190-15-N-G) = 245
	$f'_b \text{ versus } b$	3	(15) = 204	(12) = 173	(20) = 13%	(12) = 5%	No hay Diferencias	Mayor diferencia (12) / (15) Menor diferencia (12) / (20)	No hay atípicos

## B.1. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DEL MORTERO

### B.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

**Tabla 32.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_{mor}$

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	% dif. prom. exp./esp.
$f'_{mor} = 50$	3	157	52	1	5%
$f'_{mor} = 120$	3	354	118	28	-2%

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6451	1	6451	<b>441,62</b>	3,03E-05	<b>7,71</b>
Dentro de los grupos	58	4	15			
Total	6510	5				

**Tabla 33.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_{mor}$

Grupos	Diferencia muestral	
168 con 210	65,58	<b>Diferencia significativa</b>

### B.1.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_{mor\ esperada}$

**Tabla 34.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus  $f'_{mor\ esperada}$

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
$f'_m$ (S)	59	10712	182	<b>481</b>
$f'_m$ (N)	58	10341	178	454

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	313	1	313	<b>0,67</b>	0,41	<b>3,92</b>
Dentro de los grupos	53794	115	468			
Total	54107	116				

**Tabla 35.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus  $f'_{mor\ esperada}$

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
S / N	3,27	<b>No existe diferencia significativa</b>

### B.1.3. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_{mor experimental}$

**Tabla 36.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus  $f'_{mor experimental}$

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	% dif. prom. exp./esp.
$f'_m$ (133-S)	19	3143	<b>165</b>	512	<b>24%</b>
$f'_m$ (160-S)	20	3577	179	209	12%
$f'_m$ (190-S)	20	3992	<b>200</b>	163	5%
$f'_m$ (133-N)	20	3316	166	304	<b>25%</b>
$f'_m$ (160-N)	19	3337	176	<b>140</b>	10%
$f'_m$ (190-N)	19	3619	190	<b>638</b>	<b>0%</b>

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	18177	5	3635	<b>11,20</b>	9,4E-09	<b>2,30</b>
Dentro de los grupos	36039	111	325			
Total	54216	116				

**Tabla 37.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus  $f'_{mor experimental}$

Grupos	Diferencia muestral	
133-S / 160-S	13,41	Diferencia significativa
<b>133-S / 190-S</b>	<b>34,19</b>	<b>Diferencia significativa</b>
<b>133-S / 133-N</b>	<b>0,38</b>	<b>No existe diferencia significativa</b>
133-S / 160-N	10,22	<b>No existe diferencia significativa</b>
133-S / 190-N	25,03	Diferencia significativa
160-S / 190-S	20,78	Diferencia significativa
160-S / 133-N	13,03	<b>No existe diferencia significativa</b>
160-S / 160-N	3,19	<b>No existe diferencia significativa</b>
160-S / 190-N	11,62	<b>No existe diferencia significativa</b>
<b>190-S / 133-N</b>	<b>33,81</b>	<b>Diferencia significativa</b>
190-S / 160-N	23,97	Diferencia significativa
190-S / 190-N	9,16	<b>No existe diferencia significativa</b>
133-N / 160-N	9,84	<b>No existe diferencia significativa</b>
133-N / 190-N	24,65	Diferencia significativa
160-N / 190-N	14,81	Diferencia significativa

## B.2. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS EL CONCRETO DE RELLENO

### B.2.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE RELLENO

**Tabla 38.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_g$

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>% dif. prom. exp./esp.</i>
$f'_g = 168$	2	435	217	2897	29%
$f'_g = 210$	4	916	229	119	9%

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	177	1	177	<b>0,22</b>	0,66	<b>7,71</b>
Dentro de los grupos	3252	4	813			
Total	3430	5				

**Tabla 39.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_g$

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
168 con 210	11,54	<b>Diferencia significativa</b>

### B.2.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS PATRÓN DE RELLENO

**Tabla 40.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus patrón de relleno

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Incremento <math>f'_m</math></i>
Prismas huecos	60	10415	174	388	
Prismas rellenos	57	10638	<b>187</b>	<b>469</b>	8%

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4982	1	4982	<b>11,66</b>	0,0009	<b>3,92</b>
Dentro de los grupos	49125	115	427			
Total	54107	116				

**Tabla 41.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus patrón de relleno

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
rellenos / huecos	13,06	<b>Diferencia significativa</b>

### B.2.3. ANÁLISIS DE $f'_m$ DE PRISMAS HUECOS

**Tabla 42.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  de prismas huecos

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
huecos (133-S)	9	1430	159	<b>262</b>
huecos (133-N)	11	1713	<b>156</b>	135
huecos (160-S)	11	1942	177	150
huecos (160-N)	10	1697	170	<b>132</b>
huecos (190-S)	9	1813	<b>201</b>	134
huecos (190-N)	10	1820	182	252

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	13406	5	2681	<b>15,27</b>	2,43E-09	<b>2,39</b>
Dentro de los grupos	9479	54	176			
Total	22885	59				

**Tabla 43.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  de prismas huecos

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
<b>133-S / 133-N</b>	<b>3,13</b>	Diferencia significativa
133-S / 160-S	17,63	Diferencia significativa
133-S / 160-N	10,80	Diferencia significativa
<b>133-S / 190-S</b>	<b>42,61</b>	<b>Diferencia significativa</b>
133-S / 190-N	23,12	Diferencia significativa
133-N / 160-S	20,76	Diferencia significativa
133-N / 160-N	13,93	Diferencia significativa
<b>133-N / 190-S</b>	<b>45,74</b>	<b>Diferencia significativa</b>
133-N / 190-N	26,25	Diferencia significativa
160-S / 160-N	6,83	Diferencia significativa
160-S / 190-S	24,97	Diferencia significativa
160-S / 190-N	5,48	Diferencia significativa
160-N / 190-S	31,80	Diferencia significativa
160-N / 190-N	12,31	Diferencia significativa
190-S / 190-N	19,49	Diferencia significativa

#### B.2.4. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_g$ DE PRISMAS RELLENOS

**Tabla 44.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus  $f'_g$

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
$f'_g=179$ (133-S)	10	1713	<b>171</b>	709
$f'_g=255$ (133-N)	9	1672	186	190
$f'_g=218$ (160-S)	9	1635	182	292
$f'_g=231$ (160-N)	9	1641	182	<b>72</b>
$f'_g=243$ (190-S)	11	2179	198	197
$f'_g=223$ (190-N)	9	1799	<b>200</b>	<b>962</b>

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5763	5	1153	<b>2,87</b>	0,023	<b>2,40</b>
Dentro de los grupos	20476	51	401			
Total	26239	56				

**Tabla 45.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus  $f'_g$

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
133-S / 133-N	14,42	Diferencia significativa
133-S / 160-S	10,37	Diferencia significativa
133-S / 160-N	10,96	Diferencia significativa
<b>133-S / 190-S</b>	<b>26,77</b>	<b>Diferencia significativa</b>
<b>133-S / 190-N</b>	<b>28,55</b>	<b>Diferencia significativa</b>
133-N / 160-S	4,05	Diferencia significativa
133-N / 160-N	3,46	Diferencia significativa
133-N / 190-S	12,35	Diferencia significativa
133-N / 190-N	14,12	Diferencia significativa
<b>160-S / 160-N</b>	<b>0,60</b>	<b>No existe diferencia significativa</b>
160-S / 190-S	16,41	Diferencia significativa
160-S / 190-N	18,18	Diferencia significativa
160-N / 190-S	15,81	Diferencia significativa
160-N / 190-N	17,58	Diferencia significativa
190-S / 190-N	1,77	<b>No existe diferencia significativa</b>

### B.3. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA RESISTENCIA DE LA UNIDAD

#### B.3.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE

**Tabla 46.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_b$

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>% dif. prom. exp./esp.</i>
$f'_b = 133$	3	510	<b>170</b>	455	28%
$f'_b = 160$	3	583	194	<b>489</b>	21%
$f'_b = 190$	3	580	<b>193</b>	<b>124</b>	2%

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1149	2	574	<b>1,61</b>	0,27	<b>5,14</b>
Dentro de los grupos	2135	6	356			
Total	3284	8				

**Tabla 47.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_b$

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
<b>133 con 160</b>	<b>24,47</b>	<b>Diferencia significativa</b>
133 con 190	23,43	Diferencia significativa
<b>160 con 190</b>	<b>1,04</b>	<b>No existe diferencia significativa</b>

### B.3.2. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_b$ esperada

**Tabla 48.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus  $f'_b$  esperada

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Incremento $f'_m$
$f'_b = 133$	39	6528	<b>167</b>	<b>439</b>	
$f'_b = 160$	39	6914	177	<b>173</b>	6%
$f'_b = 190$	39	7611	<b>195</b>	405	10%

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	15453	2	7727	<b>22,79</b>	0,000000005	<b>3,08</b>
Dentro de los grupos	38653	114	339			
Total	54107	116				

**Tabla 49.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus  $f'_b$  esperada

Grupos	Diferencia muestral	
133 con 160	-9,90	Diferencia significativa
133 con 190	<b>-27,77</b>	<b>Diferencia significativa</b>
160 con 190	-17,87	Diferencia significativa

### B.3.3. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS $f'_b$ experimental

**Tabla 50.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus  $f'_b$  experimental

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
$f'_b = 153$ (133-20)	13	2111	<b>162</b>	541
$f'_b = 194$ (133-15)	13	2286	<u>176</u>	<u>255</u>
$f'_b = 163$ (133-12)	13	2131	164	475
$f'_b = 190$ (160-20)	13	2255	173	<b>126</b>
$f'_b = 218$ (160-15)	13	2393	<u>184</u>	<u>168</u>
$f'_b = 175$ (160-12)	13	2267	174	179
$f'_b = 199$ (190-20)	13	2477	<b>191</b>	402
$f'_b = 200$ (190-15)	13	2654	204	<b>243</b>
$f'_b = 180$ (190-12)	13	2480	191	507

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	19350	8	2419	<b>7,52</b>	0,00000006	<b>2,03</b>
Dentro de los grupos	34757	108	322			
Total	54107	116				

**Tabla 51.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus  $f'_b$  experimental

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
153 con 194	-13,52	Diferencia significativa
<b>153 con 163</b>	<b>-1,57</b>	<b>No existe diferencia significativa</b>
153 con 190	-11,08	Diferencia significativa
153 con 218	-21,70	Diferencia significativa
153 con 175	-12,02	Diferencia significativa
<b>153 con 199</b>	<b>-28,22</b>	<b>Diferencia significativa</b>
<b>153 con 200</b>	<b>-41,79</b>	<b>Diferencia significativa</b>
153 con 180	-28,39	Diferencia significativa
194 con 163	11,95	Diferencia significativa
194 con 190	2,44	Diferencia significativa
194 con 218	-8,18	Diferencia significativa
194 con 175	1,50	Diferencia significativa
194 con 199	-14,71	Diferencia significativa
194 con 200	-28,27	Diferencia significativa
<b>194 con 180</b>	<b>-14,87</b>	<b>Diferencia significativa</b>
163 con 190	-9,50	Diferencia significativa
163 con 218	-20,13	Diferencia significativa
163 con 175	-10,45	Diferencia significativa
<b>163 con 199</b>	<b>-26,65</b>	<b>Diferencia significativa</b>
<b>163 con 200</b>	<b>-40,22</b>	<b>Diferencia significativa</b>
163 con 180	-26,82	Diferencia significativa
190 con 218	-10,63	Diferencia significativa
190 con 175	-0,94	<b>No existe diferencia significativa</b>
190 con 199	-17,15	Diferencia significativa
190 con 200	-30,72	Diferencia significativa
190 con 180	-17,32	Diferencia significativa
218 con 175	9,69	Diferencia significativa
218 con 199	-6,52	Diferencia significativa
218 con 200	-20,09	Diferencia significativa
218 con 180	-6,69	Diferencia significativa
175 con 199	-16,21	Diferencia significativa
175 con 200	-13,57	<b>No existe diferencia significativa</b>
174 con 180	13,40	Diferencia significativa
199 con 200	-13,57	Diferencia significativa
199 con 180	13,40	Diferencia significativa
200 con 180	13,40	Diferencia significativa

## B.4. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VERSUS LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD

### B.4.1. ANÁLISIS DE $f'_m$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE

**Tabla 52.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_m$  versus ancho del bloque

RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Incremento <math>f'_m</math></i>
b = 12	39	6877	176	<b>492</b>	
b = 15	39	7333	<b>188</b>	<b>355</b>	7%
b = 20	39	6843	<b>175</b>	476	-7%

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3838	2	1919	<b>4,35</b>	0,01510	<b>3,08</b>
Dentro de los grupos	50269	114	441			
Total	54107	116				

**Tabla 53.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_m$  versus ancho del bloque

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
<b>12 con 15</b>	<b>11,68</b>	<b>Diferencia significativa</b>
12 con 20	-0,89	Diferencia significativa
<b>15 con 20</b>	<b>12,57</b>	<b>No existe diferencia significativa</b>

#### B.4.2. ANÁLISIS DE $f'_b$ VERSUS ANCHO DEL BLOQUE

**Tabla 54.** Análisis de varianza de un factor por el método Anova para  $f'_b$  versus ancho del bloque

##### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>% dif. prom. exp./esp.</i>
b = 12	3	518	<b>173</b>	<b>83</b>	7%
b = 15	3	613	<b>204</b>	160	27%
b = 20	3	542	181	<b>592</b>	12%

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1614	2	807	<b>2,90</b>	0,13	<b>5,14</b>
Dentro de los grupos	1670	6	278			
Total	3284	8				

**Tabla 55.** Análisis de varianza por el método Tukey para  $f'_b$  versus ancho del bloque

<i>Grupos</i>	<i>Diferencia muestral</i>	
<b>12 con 15</b>	<b>31,59</b>	<b>Diferencia significativa</b>
<b>12 con 20</b>	<b>8,16</b>	Diferencia significativa
15 con 20	23,43	Diferencia significativa