

**Universidad de Costa Rica**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Determinación de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm bajo la aplicación de cargas axiales concéntricas**

**Trabajo de Graduación**

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Steven Alberto Sibaja Víquez**

Directora del Proyecto de Graduación:

**Ing. Andrea Ramírez Villalba**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Tribunal de graduación

Andrea R.V.

Ing. Andrea Ramírez Villalba

**Directora**

Alejandro

Ing. Alejandro Navas Carro

**Asesor**

Guillermo

Ing. Guillermo González Beltrán

**Asesor**

Steven Sibaja V

Steven Alberto Sibaja Víquez

**Candidato**

**Fecha:2023-10-04**

El suscrito, **Steven Alberto Sibaja Víquez**, cédula 1-1638-0208, estudiante de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B66845, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación denominado "**Determinación de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm bajo la aplicación de cargas axiales concéntricas**", bajo la dirección de la Ing. Andrea Ramírez Villalba, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada al 02 de Julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

A mi familia que siempre me apoyaron durante mi estancia en la Universidad, especialmente, a mi madre Jeannette Víquez Valverde, mi tía Greis Víquez Valverde y mi novia Yaritza Araúz Campos.

## **Agradecimientos**

A mi familia, especialmente a mis padres Jeannette Víquez Valverde y Erick Sibaja Pereira, asimismo, a mis hermanos Justin Sibaja Víquez y Glenda Sibaja Víquez, por su apoyo durante mi recorrido en la Universidad.

A los ingenieros Andrea Ramírez Villalba, Alejandro Navas Carro y Guillermo González Beltrán por su asesoramiento durante el proceso de la presente investigación.

Por otra parte, un agradecimiento a las empresas que permitieron que este proyecto de investigación se llevara a cabo por medio de sus donaciones; en primera instancia, la empresa Concrepal, quienes donaron las unidades de mampostería utilizadas en el estudio y, por otra parte, la empresa Intaco quienes aportaron el mortero y el concreto premezclado para la elaboración de los prismas.

## **Índice general**

Resumen.....	1
Capítulo 1. Introducción .....	2
1.1    Justificación.....	2
1.1.1    Problema específico.....	2
1.1.2    Importancia .....	3
1.1.3    Antecedentes.....	3
1.2    Objetivos.....	6
1.2.1    Objetivo general.....	6
1.2.2    Objetivos específicos .....	6
1.3    Alcance .....	7
1.3.1    Variables contempladas en el estudio.....	7
1.3.2    Número de especímenes.....	8
1.4    Descripción de la metodología.....	9
Capítulo 2. Marco teórico .....	12
2.1    Componentes de la mampostería de concreto.....	12
2.1.1    Unidades de mampostería.....	12
2.1.2    Mortero de pega.....	13
2.1.3    Concreto de relleno .....	15
2.2    Prismas de mampostería.....	16
2.3    Curva de esfuerzo en función de la deformación .....	16
2.4    Resistencia a la compresión .....	18
Capítulo 3. Programa experimental .....	20
3.1    Caracterización de materiales.....	20
3.1.1    Bloques de 15x20x40 cm .....	20
3.1.2    Mortero de pega.....	20

3.1.3	Concreto de relleno .....	22
3.2	Elaboración de los especímenes de ensayo.....	24
3.2.1	Proceso de construcción.....	25
3.2.2	Curado .....	27
3.2.3	Coronamiento .....	27
Capítulo 4.	Montaje experimental .....	30
4.1.1	Instrumentación .....	30
4.1.2	Diseño del aditamento .....	31
4.1.3	Diseño de las placas del montaje .....	31
4.1.4	Protocolo de carga de la máquina TMS-64.....	32
Capítulo 5.	Presentación y análisis de resultados.....	33
5.1	Bloques de 15x20x40 cm .....	33
5.2	Mortero de pega .....	34
5.3	Concreto de relleno.....	37
5.4	Prismas de mampostería.....	38
5.4.1	Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo .....	39
5.4.2	Modos de falla.....	44
5.4.3	Curvas de esfuerzo en función de la deformación.....	46
5.4.4	Módulo de elasticidad .....	49
5.4.5	Deformación unitaria .....	53
Capítulo 6.	Conclusiones y recomendaciones .....	56
6.1	Conclusiones .....	56
6.1.1	Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo .....	56
6.1.2	Modos de falla.....	57
6.1.3	Curvas de esfuerzo en función de la deformación unitaria .....	57
6.1.4	Módulo de elasticidad .....	58

6.1.5	Deformación unitaria .....	58
6.2	Recomendaciones .....	59
Capítulo 7. Referencias bibliográficas .....		61
Capítulo 8. Anexos .....		65
8.1	Anexo A .....	65
Capítulo 9. Apéndices .....		66
9.1	Bloques de 15x20x40 cm .....	66
9.2	Concreto de relleno .....	66
9.2.1	Dimensiones .....	66
9.2.2	Resistencias .....	68
9.3	Prismas de mampostería.....	68
9.3.1	Dimensiones .....	68
9.3.2	Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo .....	70
9.3.3	Curvas de esfuerzo en función de la deformación .....	72
9.3.4	Modos de falla de los prismas de mampostería.....	84
9.3.5	Módulo de elasticidad .....	90
9.3.6	Deformación unitaria .....	92



## Índice de figuras

Figura 1-1. Variables y muestras contempladas en el estudio.....	8
Figura 1-2. Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa I.....	9
Figura 1-3. Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa II y III. ....	11
Figura 1-4. Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa IV.....	11
Figura 2-1. Elaboración de prismas de mampostería.....	16
Figura 2-2. Montaje experimental para realizar ensayos de compresión en mampostería. ....	17
Figura 2-3. Curva de esfuerzo-deformación de la mampostería. ....	18
Figura 3-1. Unidades de mampostería empleadas en el estudio.....	20
Figura 3-2. Elaboración del mortero de pega. ....	21
Figura 3-3. Fabricación de los cubos de mortero: (a) Molde empleado en la construcción de los cubos de mortero y (b) Desmolde de cubos de mortero. ....	22
Figura 3-4. Fabricación del concreto de relleno. ....	23
Figura 3-5. Molde empleado en la fabricación de los especímenes de concreto de relleno.....	23
Figura 3-6. Prismas de concreto de relleno: (a) Arreglo usado en la fabricación de los prismas y (b) Prismas de concreto de relleno desmoldados.....	24
Figura 3-7. Combinación de variables empleadas en la fabricación de los especímenes de ensayo. ....	25
Figura 3-8. Construcción de los especímenes de ensayo: (a) Colocación del mortero de pega y nivelación de prismas y (b) Colado del concreto de relleno. ....	26
Figura 3-9. Proceso de coronamiento de los prismas de concreto de relleno: (a) Equipo utilizado para el coronamiento, (b) Vista frontal de los especímenes y (c) Corroboración del nivel en los especímenes.....	28
Figura 3-10. Coronamiento de los especímenes de ensayo: (a) Vista superior de los prismas de mampostería con su debido coronamiento y (b) Montaje empleado en el proceso de coronamiento. ....	29
Figura 4-1. Montaje experimental usado en el estudio. ....	30
Figura 4-2. Diseño del aditamento empleado en el estudio: (a) Placa removible utilizada para asegurar la longitud de control, (b) Tornillos de fijación y (c) Pieza para sujetar el LVDT.....	31
Figura 4-3. Placas utilizadas durante los ensayos de compresión. ....	32
Figura 5-1. Distribución de los resultados de resistencia según el tipo de concreto de relleno. .	38
Figura 5-2. Representación de cajas y bigotes para la resistencia a compresión ( $f'_m$ ).....	39

Figura 5-3. Efecto de la resistencia del mortero en la resistencia de los prismas de mampostería. .....	42
Figura 5-4. Modos de falla en prismas de mampostería. ....	45
Figura 5-5. Modos de falla predominantes del estudio: (a) Cono y grieta vertical, (b) Falla por cortante, (c) Falla semicónica y (d) Falla de tensión. ....	46
Figura 5-6. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prismas de mampostería con mortero tipo M. ....	47
Figura 5-7. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prismas de mampostería con mortero tipo S. ....	48
Figura 5-8. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prismas de mampostería con mortero tipo N. ....	48
Figura 5-9. Módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión de los prismas rellenos y sin relleno. ....	51
Figura 5-10. Módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión de los prismas de mampostería. ....	52
Figura 5-11. Deformaciones unitarias obtenidas para cada uno de los especímenes de ensayo. .....	54
Figura 8-1. Orden del proceso de apisonado en la fabricación de los especímenes de ensayo. .	65
Figura 9-1. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR1. ....	72
Figura 9-2. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR2. ....	72
Figura 9-3. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR3. ....	73
Figura 9-4. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR5. ....	73
Figura 9-5. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS1. ....	74
Figura 9-6. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS2. ....	74
Figura 9-7. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS3. ....	75
Figura 9-8. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS4. ....	75
Figura 9-9. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS5. ....	76
Figura 9-10. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR1. ....	76
Figura 9-11. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR2. ....	77
Figura 9-12. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR3. ....	77
Figura 9-13. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR4. ....	78
Figura 9-14. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS1. ....	78

Figura 9-15. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS3.....	79
Figura 9-16. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS4.....	79
Figura 9-17. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS5.....	80
Figura 9-18. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR1. ....	80
Figura 9-19. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR2. ....	81
Figura 9-20. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR3. ....	81
Figura 9-21. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR4. ....	82
Figura 9-22. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR5. ....	82
Figura 9-23. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNS1. ....	83
Figura 9-24. Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNS2. ....	83
Figura 9-25. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo M: (a) PMR1, (b) PMR2, (c) PMR3 y (d) PMR4.....	84
Figura 9-26. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo M: (e) PMS1, (f) PMS2, (g) PMS3 y (h) PMS4 (cont). ....	85
Figura 9-27. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo S: (a) PSR1, (b) PSR2, (c) PSR3 y (d) PSR4.....	86
Figura 9-28. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo S: (e) PSR5, (f) PSS3, (g) PSS4 y (h) PSS5 (cont). ....	87
Figura 9-29. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo N: (a) PNR2, (b) PNR3, (c) PNR4 y (d) PNR5.....	88
Figura 9-30. Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo N: (e) PNS1, (f) PNS2 (cont).....	89

## Índice de tablas

Tabla 2-1. Requisitos mínimos de espesores según la Norma INTE C90. ....	12
Tabla 2-2. Requisitos de resistencia, absorción y clasificación de acuerdo con la densidad. ....	13
Tabla 2-3. Características de los tipos de mortero. ....	13
Tabla 2-4. Resistencia requeridas de acuerdo con el tipo de mortero. ....	14
Tabla 2-5. Valores de resistencia para los diferentes tipos de concreto de relleno. ....	15
Tabla 2-6. Valores mínimos para la resistencia a compresión de acuerdo con la clase de mampostería ....	18
Tabla 3-1. Datos técnicos del concreto empleado en el estudio. ....	22
Tabla 5-1. Dimensiones de las unidades de mampostería. ....	33
Tabla 5-2. Propiedades de las unidades de mampostería. ....	33
Tabla 5-3. Resistencia a la compresión de las unidades de mampostería. ....	34
Tabla 5-4. Resistencia a la compresión del mortero tipo M. ....	35
Tabla 5-5. Resistencia a la compresión del mortero tipo S. ....	35
Tabla 5-6. Resistencia a la compresión del mortero tipo N. ....	36
Tabla 5-7. Determinación del flujo para cada uno de los tipos de mortero empleados en el estudio bajo condiciones de laboratorio. ....	37
Tabla 5-8. Resistencia del concreto de relleno empleado en la fabricación de los prismas de mampostería. ....	38
Tabla 5-9. Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo rellenos. ....	40
Tabla 5-10. Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo sin relleno. ....	40
Tabla 5-11. Valores de resistencia promedio obtenidos en investigaciones locales. ....	44
Tabla 5-12. Módulos de elasticidad obtenidos para los prismas con concreto de relleno. ....	49
Tabla 5-13. Módulos de elasticidad obtenidos para los prismas sin concreto de relleno. ....	50
Tabla 5-14. Valores obtenidos para la deformación unitaria de los prismas rellenos. ....	53
Tabla 5-15. Valores obtenidos para la deformación unitaria de los prismas sin relleno. ....	54
Tabla 9-1. Dimensiones detalladas de las unidades de mampostería. ....	66
Tabla 9-2. Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo M. ....	66
Tabla 9-3. Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo S. ....	67

Tabla 9-4. Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo N. ....	67
Tabla 9-5. Resistencias obtenidas para el concreto de relleno empleado en la fabricación de los prismas de mampostería.....	68
Tabla 9-6. Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo M.....	68
Tabla 9-7. Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo S. ....	69
Tabla 9-8. Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo N. ....	69
Tabla 9-9. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo M y con concreto de relleno.....	70
Tabla 9-10. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo S y con concreto de relleno. ....	70
Tabla 9-11. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo N y con concreto de relleno. ....	70
Tabla 9-12. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo M y sin concreto de relleno.....	71
Tabla 9-13. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo S y sin concreto de relleno. ....	71
Tabla 9-14. Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo N y sin concreto de relleno. ....	71
Tabla 9-15. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PMR. ....	90
Tabla 9-16. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PSR.....	90
Tabla 9-17. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PNR. ....	90
Tabla 9-18. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PMS. ....	91
Tabla 9-19. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PSS. ....	91
Tabla 9-20. Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PNS.....	91
Tabla 9-21. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PMR..	92
Tabla 9-22. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PSR. .	92
Tabla 9-23. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PNR. .	92
Tabla 9-24. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PMS. .	93
Tabla 9-25. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PSS...	93
Tabla 9-26. Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PNS. .	93

## **Simbología**

W: Ancho del espécimen

H: Altura del espécimen

L: Longitud del espécimen

$W_r$ : Peso recibido de la unidad de mampostería

$W_i$ : Peso sumergido de la unidad de mampostería

$W_s$ : Peso saturado de la unidad de mampostería

$W_D$ : Peso seco al horno de la unidad de mampostería

D: Densidad de los especímenes

$V_n$ : Volumen neto

$A_n$ : Área neta

$f'_m$ : Resistencia a compresión de los prismas de mampostería

$f'_b$ : Resistencia a la compresión de las unidades de mampostería

$f'_g$ : Resistencia a la compresión del concreto de relleno

$P_{max}$ : Carga máxima

$E_m$ : Módulo de elasticidad de la mampostería

$PMRX_{i-5}$ : Prisma con concreto de relleno, mortero tipo M

$PMSX_{i-5}$ : Prisma sin concreto de relleno, mortero tipo M

$PSRX_{i-5}$ : Prisma con concreto de relleno, mortero tipo S

$PSSX_{i-5}$ : Prisma sin concreto de relleno, mortero tipo S

$PNRX_{i-5}$ : Prisma con concreto de relleno, mortero tipo N

$PNSX_{i-5}$ : Prisma sin concreto de relleno, mortero tipo N

Sibaja Víquez Steven Alberto

Determinación de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm bajo la aplicación de cargas axiales concéntricas

Proyecto de Graduación- Ingeniería Civil- San José. CR;

S. Sibaja V, 2023

ix,63, [29]h; ils. col. – 38 refs

## Resumen

El presente estudio tiene como finalidad determinar las principales propiedades mecánicas de la mampostería a nivel local, haciendo uso de bloques de 15x20x40 cm. Para la obtención de estas propiedades (resistencia a la compresión  $f'_m$ , módulo de elasticidad  $E_m$  y deformación unitaria) se fabricaron prismas de mampostería conformados por dos bloques completos de altura, considerando las siguientes variables: presencia o ausencia de concreto de relleno y morteros tipo M, S y N.

Además de resumir los resultados experimentales, se procedió a plantear una correlación entre la resistencia a compresión de la mampostería, la resistencia de los bloques de concreto y la resistencia del mortero de pega con la finalidad de encontrar la influencia que tienen estos parámetros en las propiedades mecánicas de la mampostería.

Se busca que los resultados obtenidos en el presente estudio incrementen la base de datos a nivel local en materia de mampostería, lo cual permitirá definir el comportamiento de la mampostería con mayor determinación, y de esta forma, establecer comparaciones con el CSCR 2010-14 y el TMS 402-16. Por otra parte, se busca que la información recopilada en el presente estudio sirva como insumo para el mejoramiento del capítulo de mampostería del Código Sísmico de Costa Rica.

**PALABRAS CLAVE: PRISMAS DE MAMPOSTERÍA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, CURVAS DE ESFUERZO EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN, MÓDULO DE ELASTICIDAD, DEFORMACIÓN UNITARIA**

Ing. Andrea Ramírez Villalba

Escuela de Ingeniería Civil

# **Capítulo 1. Introducción**

## **1.1 Justificación**

### **1.1.1 Problema específico**

La mampostería es uno de los materiales de construcción más antiguos empleados por la humanidad, al cual se le ha asignado diferentes usos, desde la concepción de proyectos de índole público hasta casas residenciales, donde la alta aceptación que ha experimentado la mampostería responde en gran medida a las ventajas que brinda en materia de características estéticas y económicas.

Se debe tomar en consideración que la mampostería se clasifica como un material heterogéneo, donde su comportamiento viene dado mediante las propiedades de los materiales que lo conforman y sus interacciones (Abarca & González, 2017). Estas propiedades e interacciones se caracterizan por su variabilidad y complejidad, lo cual genera que se experimenten discrepancias entre las normativas extranjeras y las locales.

En Costa Rica, los lineamientos para el diseño de mampostería de concreto se definen en las secciones 9.3.4 y A.2 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010-14), el cual se fundamenta en los Requisitos y Especificaciones del Código de Construcción para Estructuras de Mampostería (TMS 402/602-16), de la Sociedad de Mampostería. A pesar de que el CSCR 2010-14 se sustenta en el TMS 402/602-16, este expone diferencias en algunos parámetros de diseño.

Como respuesta a estas diferencias en las normativas, el interés de llevar a cabo esta investigación se centró en someter a ensayos experimentales a prismas de mampostería, específicamente bloques de concreto de 15x20x40 cm, haciendo uso de la Máquina Universal TMS-64, que cuenta el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanameUCR), con la finalidad de determinar el comportamiento bajo carga axial concéntrica de los prismas de mampostería a partir de la elaboración de los gráficos de esfuerzo en función de la deformación y la obtención de parámetros de diseño, como lo son, la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y deformación última. De esta forma, se realizó una comparación de los resultados, con los criterios de diseño señalados en las secciones 9.3.4 y A.2 del CSCR 2010-14, para avalar o inclusive, brindar insumos experimentales para futuros cambios de la normativa.

Para obtener resultados significativos, los ensayos siguieron los lineamientos que se definen en el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), además de las Normas de la Sociedad



Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), normativas donde se especifican los procedimientos y requerimientos de los ensayos experimentales, así mismo, los requisitos de los materiales que conforman los prismas de mampostería.

### **1.1.2 Importancia**

La metodología empleada en el diseño de mampostería de concreto responde en gran medida a simplificaciones y suposiciones de acuerdo con las gráficas de esfuerzo-deformación, de igual manera, responde a suposiciones partiendo de propiedades límites en términos de la resistencia a la compresión y sus deformaciones últimas. Asimismo, las normativas extranjeras acondicionan algunas de esas propiedades de estudios experimentales, por ejemplo, los parámetros de diseño que se definen en la TMS 402/602-16. No obstante, el autor Navas (1999) menciona que: “la validez de las expresiones allí propuestas para nuestros materiales es cuestionable, dada la limitada cantidad de información experimental a nivel local”.

Por otro lado, los prismas de mampostería tienen la particularidad de representar en una menor escala las características mecánicas de una pared, por ende, entre una mayor similitud con las condiciones de campo, con las variables que emplea el sector de construcción (tipo de mortero, resistencia a la compresión y ancho de bloque), se puede determinar una caracterización de estas propiedades y obtener resultados más representativos de la realidad nacional (Núñez, 2019).

### **1.1.3 Antecedentes**

Navas (1999) menciona que en el área del diseño estructural la cuantificación de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados es transcendental. Para determinar estas propiedades, la metodología se basa en la utilización de expresiones derivadas de estudios experimentales que eventualmente son consideradas en los códigos de diseño. En Costa Rica los requisitos para el análisis, diseño y construcción sismorresistente se definen de forma oficial en el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR).

En el país se empiezan a introducir proyectos de investigación que estudian las propiedades mecánicas de la mampostería de concreto a finales de los años 70's. Uno de los primeros pioneros en el tema corresponde a Mata (1979) mediante su proyecto final de graduación denominado “Ensayos de las Propiedades Mecánicas de la Mampostería de Bloques de Concreto”. En este estudio, Mata se centró en la obtención de algunos parámetros experimentales, para ello llevó a cabo tres tipos de ensayos: una pila a carga axial, un murete a compresión diagonal y un tercer

ensayo a cortante, mediante la utilización de unidades de mampostería de 12x20x40 cm, 15x20x40 cm y 12x25x25 cm.

Posteriormente, Rodríguez (1986), en su proyecto final de graduación "Pruebas de Mampostería de Bloques de Concreto" estudió las propiedades mecánicas en unidades de mampostería de concreto. Carvajal (2000) menciona que a pesar de que la mampostería corresponde a un método constructivo muy utilizado a nivel local, estos estudios mencionados anteriormente, no fueron muy representativos debido a que se desarrollaron con una cantidad de especímenes e instrumentación limitada, por lo que su validez estadística no es buena, por lo tanto, no se logró plantear expresiones que pudiesen ser utilizadas de forma directa en el CSCR.

En 1999 se continuaron los estudios en torno al comportamiento mecánico de la mampostería de concreto, estos estudios se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). En primera instancia, Navas (1999) llevó a cabo un estudio donde se centró en la cuantificación de las propiedades mecánicas de la mampostería de 12x20x40 cm, específicamente la obtención de la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, resistencia a la tensión diagonal de la mampostería, resistencia al cortante de las juntas de mortero y el módulo de cortante.

Navas (1999) en su estudio logró corroborar que la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f'_m$ ) depende estrictamente de la resistencia a la compresión de las unidades, donde la resistencia del mortero presenta un papel secundario. De esta forma, los valores promedios reportados para la resistencia a compresión en este estudio fueron de 121,7 kg/cm<sup>2</sup>, 71,3 kg/cm<sup>2</sup> y 62,3 kg/cm<sup>2</sup> para prismas de mampostería con bloques tipo A, B y C, respectivamente. Con respecto al módulo de elasticidad, la investigación permitió determinar que este parámetro se encuentra directamente relacionado con la resistencia de los prismas, y este a su vez, se encuentra ligado a la resistencia a la compresión de las unidades, donde se reportaron valores promedios de 114 544 kg/cm<sup>2</sup>, 65173 kg/cm<sup>2</sup> y 56159 kg/cm<sup>2</sup> para prismas de mampostería con bloques tipo A, B y C, respectivamente. Estos resultados, junto con las expresiones definidas en el Código Internacional de Construcción (International Building Code) sirvieron como insumos para la actualización del CSCR 2002.

De una manera análoga, los autores Rodríguez, 1999; Carvajal, 2000; Cascante, 2001; Núñez, 2019 y Vaca, 2019 estudiaron las propiedades mecánicas de la mampostería de bloques de concreto. Mediante estos proyectos se determinaron y estudiaron las propiedades mecánicas

mediante la utilización de bloques de concreto de 12x20x40 cm, 15x20x40 cm, 20x20x40 cm y 13,6x13,6x28,6 cm ante la presencia y ausencia de concreto de relleno.

Rodríguez (1999) en su estudio denominado "Medición de las Propiedades Estructurales en la Mampostería de Bloques de Concreto Rellenos de 15x20x40 cm" determino que la resistencia a compresión de los prismas de mampostería ( $f'_m$ ) se incrementa conforme aumenta la resistencia del concreto de relleno, no obstante, indica que este parámetro se encuentra delimitado por la resistencia del bloque, dado que, aunque se cuenten con resistencias del concreto de relleno altas, la resistencia general del espécimen de ensayo no será superior que la resistencia del bloque. De esta forma, Rodríguez (1999) obtuvo valores promedio de resistencia a compresión de 82 kg/cm<sup>2</sup>, 97 kg/cm<sup>2</sup> y 115 kg/cm<sup>2</sup> para prismas de mampostería con concreto de relleno tipo I, II y III, respectivamente, donde cada tipo tiene asociado un valor de resistencia en específico.

De una forma análoga, los autores Carvajal (2000), Cascante (2001), Núñez (2019) y Vaca (2019) concuerdan con los resultados reportados por los autores Navas (1999) y Rodríguez (1999). Estos autores mencionan que los resultados de la resistencia a compresión ( $f'_m$ ) se encuentran delimitados y dependen de forma directa con la resistencia a la compresión de los bloques sobre el área neta.

Por su parte, el autor Vargas (2020) en su estudio denominado "efecto del mortero de pega y el concreto de relleno en la resistencia a compresión de la mampostería nacional" se centró en investigar la influencia del mortero y el concreto de relleno en la resistencia a la compresión de la mampostería. Para ello, Vargas procedió al ordenamiento de los resultados de las investigaciones nacionales de los autores Gamboa (1997), Tanner (1998), Arrieta (2009), Arias (2012), Cordero (2012), Irías (2013), Ruiz (2016), León (2016), Campos (2016), Zúñiga (2018), Barahona (2019) y García (2019). De esta manera, Vargas recopiló los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería ( $f_b$ ), del mortero, del concreto de relleno ( $f_g$ ) y la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f_m$ ) de los estudios anteriormente mencionados.

Esta recopilación de información llevada a cabo por Vargas (2020) se centró específicamente en la estructuración de los resultados experimentales de las investigaciones nacionales, la determinación de las deficiencias del mortero y concreto de relleno empleado en la mampostería, y, además, analizar la influencia de estas variables en la resistencia global de la mampostería.

Como respuesta a ello, Vargas (2020) estableció en su estudio una expresión para la determinación de la resistencia a la compresión, partiendo de los resultados experimentales a nivel nacional, dicha expresión es la que se detalla en la ecuación 1. Tal y como se observa en esta expresión, Vargas (2020) definió una ecuación para el cálculo de la resistencia de la mampostería, la cual se encuentra en términos de la resistencia individual de los elementos, específicamente la resistencia de las unidades de mampostería, el mortero de pega y el concreto de relleno.

$$f_m = 0,29f_b + 0,11f_{\text{mortero}} + 0,23f_g + 1,10 \quad [1]$$

Es importante mencionar que este tipo de estudios no solamente se delimitan a nivel local, por el contrario, en medios internacionales se han desarrollado investigaciones sobre el tema, sin embargo, aunque esta información sea un insumo valioso, su aplicación al medio local debe corroborarse, esto principalmente, tomando en consideración las discrepancias de los materiales y mano de obra utilizados (Navas, 2007).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar el comportamiento bajo carga axial concéntrica de prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm para realizar una comparación con los valores definidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Establecer las características de los materiales que conforman los prismas de mampostería (bloques 15x20x40 cm, mortero de pega y concreto) de acuerdo con las especificaciones técnicas.
2. Definir un montaje experimental que permita la obtención de la curva esfuerzo-deformación para prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm bajo carga axial concéntrica.
3. Calcular los valores de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y deformación última en prismas de mampostería.
4. Elaborar las gráficas de esfuerzo-deformación partiendo de los resultados de los ensayos.
5. Comparar los valores obtenidos con trabajos finales de graduación anteriores.

6. Realizar una comparación con los parámetros obtenidos y los definidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14.

### **1.3 Alcance**

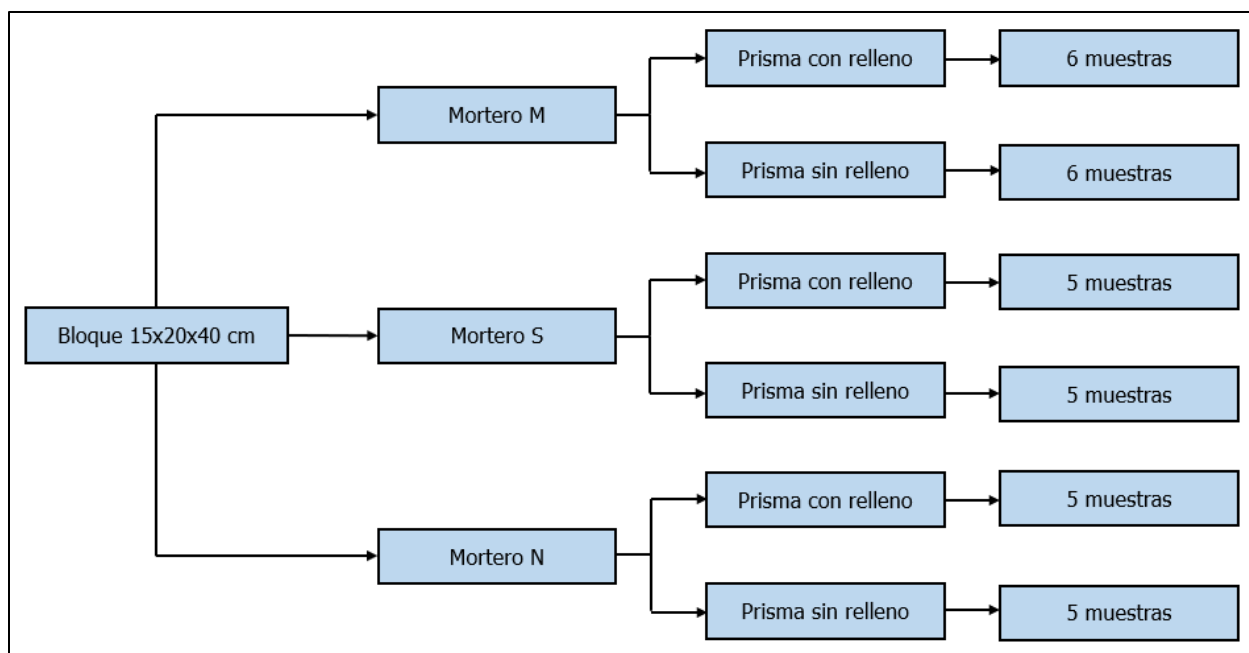
El proyecto se centró en el estudio del comportamiento bajo carga axial concéntrica de prismas de mampostería con bloques de concreto de 15x20x40 cm, con la finalidad de determinar las propiedades mecánicas de la mampostería, específicamente la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad y la deformación unitaria útil. Bajo esta línea de investigación se realizaron ensayos experimentales en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) siguiendo los lineamientos definidos en las normas del Instituto de normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) y la Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales (ASTM).

#### **1.3.1 Variables contempladas en el estudio**

En este estudio las variables contempladas fueron las siguientes (ver **Figura 1-1**):

1. Unidades de mampostería de concreto clase A de 15x20x40 cm.
2. Especímenes de ensayo fabricados con mortero preempacado tipo M, N y S.
3. Especímenes de ensayo huecos (sin concreto de relleno) y rellenos (presencia de concreto de relleno).

Para la construcción de los prismas de mampostería se utilizaron las instalaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), los cuales fueron ensamblados por un albañil con experiencia en obras de mampostería, de tal forma que se viera representada la mano de obra nacional en el estudio.



**Figura 1-1.** Variables y muestras contempladas en el estudio.

### 1.3.2 Número de especímenes

Para definir el número de especímenes se partió de estudios preliminares llevados a cabo en las instalaciones del LanammeUCR. Los autores Núñez (2019) y Vaca (2019), en sus trabajos finales de graduación mencionan que partiendo de una premuestra de prismas de mampostería sometidos a ensayos de compresión, se obtuvo una desviación estándar de 2,07 MPa (21,2 kg/cm<sup>2</sup>) con un promedio aritmético de 14,5 MPa (148 kg/cm<sup>2</sup>). Además, Navas (1999) en su estudio hace hincapié en cuanto a la variabilidad de los materiales implicados, la precisión de los equipos y mediciones, por lo tanto, se podrían registrar errores de hasta un 20 % con un intervalo de confianza del 95 %.

De esta manera, con los datos indicados anteriormente se procedió a determinar el número de especímenes haciendo uso de la ecuación [2], donde se determinó un mínimo de 5 muestras para cada una de las configuraciones de variables para poder satisfacer el error planteado, obteniendo como resultado un total de 32 especímenes de ensayo (dos de estos especímenes utilizados para establecer el protocolo de carga de la máquina TMS-64).

$$E = \frac{zS_x}{\sqrt{N}} \quad [2]$$

Donde;

E: Error estándar

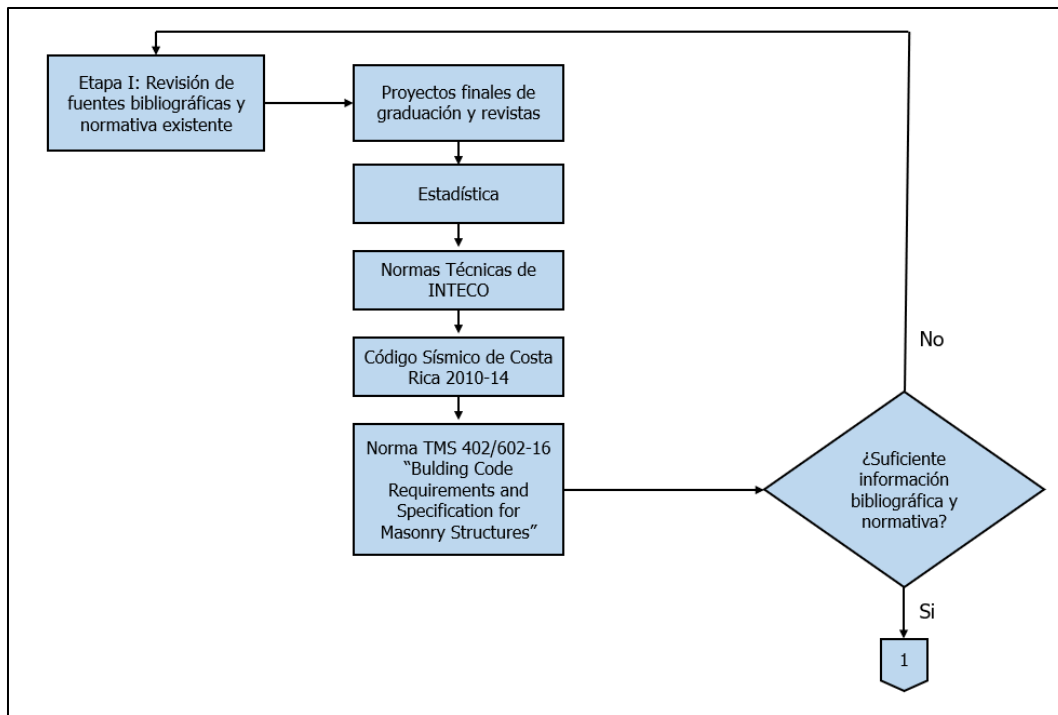
z: Estadístico para un intervalo de confianza del 95 %

S<sub>x</sub>: Desviación estándar

N: Tamaño de la muestra

#### 1.4 Descripción de la metodología

En la **Figura 1-2**, **Figura 1-3** y en la **Figura 1-4** se muestra la metodología empleada en el estudio. Tal y como se observa en las figuras mencionadas, el estudio se desarrolló mediante cuatro etapas: revisión de fuentes bibliográficas y normativa existente, caracterización de los materiales, diseño del montaje experimental y ensayos, y, por último, la etapa de análisis de resultados y conclusiones.



**Figura 1-2.** Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa I.

En la etapa I (ver **Figura 1-2**), se llevó a cabo la revisión de proyectos finales de graduación anteriores y revistas científicas, las normas técnicas de INTECO, el CSCR 2010-14 y la norma TMS 402/602-16 "Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures". Además, debido a la naturaleza del estudio, fue necesario entender el comportamiento de los elementos usados en la fabricación de los especímenes de ensayo, para ello, en la etapa II se procedió a la

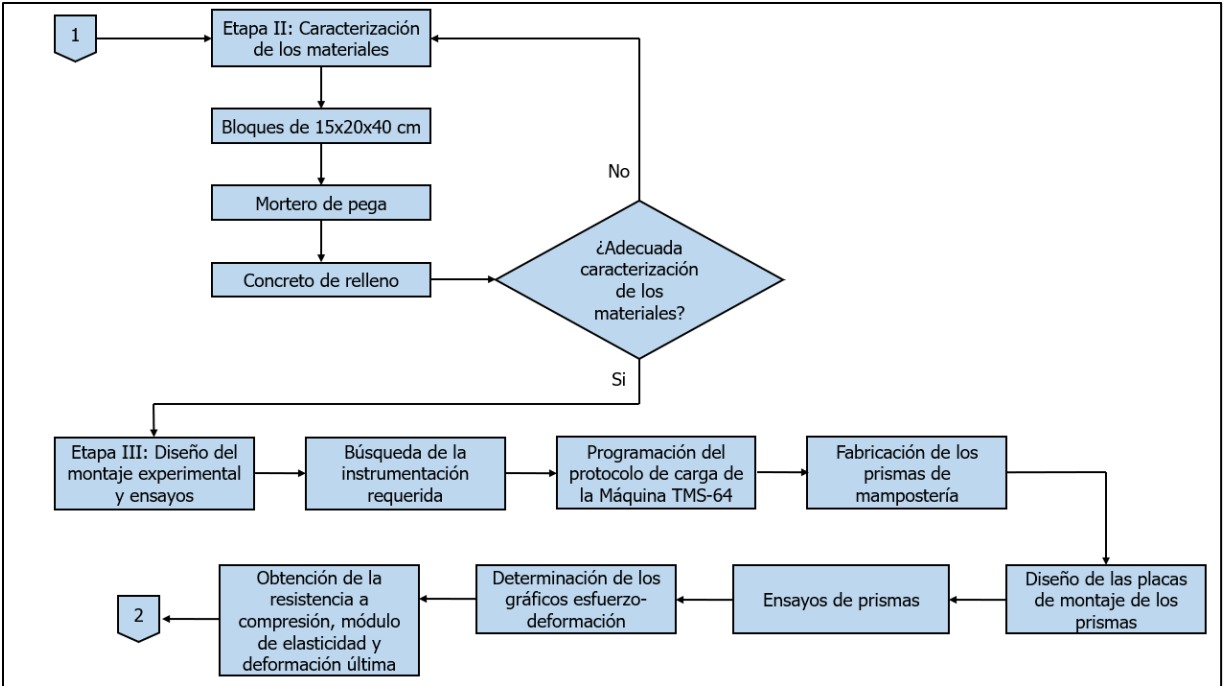
caracterización de los materiales, específicamente los bloques de 15x20x40 cm, el mortero de pega y el concreto de relleno (ver **Figura 1-3**).

En la epata III (ver **Figura 1-3**) se abordó el diseño del montaje e instrumentación experimental, para ello, se acudió a la norma ASTM C1716 la cual define requisitos para los espesores de las placas a utilizar en los ensayos. Posteriormente se trabajó en el protocolo de carga de la Máquina TMS-64, en este caso, se siguieron los lineamientos definidos en la sección 10.3 de la norma INTE C55, la cual menciona, que se debe aplicar una carga inicial a los especímenes de ensayo hasta la mitad de la carga total esperada en cualquier velocidad conveniente, mientras que el restante de la carga se debe aplicar a una velocidad uniforme en un periodo de tiempo de 1-2 minutos.

Para la fabricación de los prismas de mampostería se tuvo la colaboración de un albañil experimentado. Una vez construidos los especímenes de ensayo, se procedió a almacenarlos en una zona del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales para el proceso de curado. Posteriormente, a los 54 días se llevó a cabo la fase de ensayos a compresión de los prismas de mampostería (los especímenes de ensayo se fallaron a una edad de 54 días, debido a una falla en la máquina TMS-64).

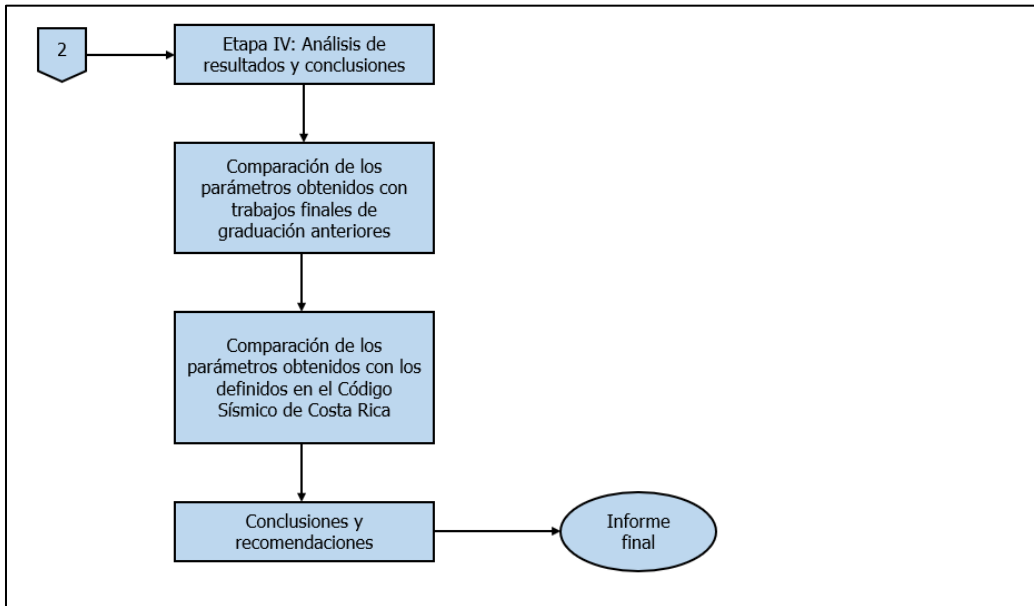
Una vez concluida la etapa de ensayos experimentales, se procedió a determinar los gráficos de esfuerzo en función de la deformación de los cuales se extrajeron los parámetros mecánicos correspondientes a la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad y la deformación última. Con estos resultados se busca diagnosticar la influencia de las variables contempladas en el estudio, así como, realizar una comparación con los valores definidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14.





**Figura 1-3.** Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa II y III.

Finalmente, en la **Figura 1-4** se muestra la etapa IV del proyecto, en la cual se plantearon los apartados de análisis de resultados y conclusiones. En esta etapa se pretende llevar a cabo una comparación con los resultados de trabajos finales de graduación y los parámetros de diseño definidos en las secciones 9.3.4 y A.2 del CSCR 2010-14.



**Figura 1-4.** Diagrama de la metodología del trabajo, Etapa IV.

## Capítulo 2. Marco teórico

La mampostería corresponde a un material estructural conformado por bloques, ladrillo de barro u otros elementos unidos mediante mortero. En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de este material, donde se puede mencionar la mampostería reforzada, la confinada y la no reforzada. A nivel local el tipo más empleado corresponde a la mampostería reforzada, la cual se encuentra fortalecida en su interior mediante varillas de acero, distribuidas tanto en sentido vertical como en el horizontal, e integradas mediante concreto, de tal forma que sus componentes actúan conjuntamente para soportar los esfuerzos (Reglamento Nacional de Construcción, 1983).

### 2.1 Componentes de la mampostería de concreto

#### 2.1.1 Unidades de mampostería

Los bloques de concreto, conocidos comúnmente como unidades de mampostería, son elementos estructurales elaborados principalmente de concreto, los cuales cumplen con requisitos de dimensiones y de resistencia. Estos requisitos de resistencia se establecen en el Anexo A del CSCR 2010-14, normativa que clasifica en tres tipos a los bloques de concreto: Clase A, B y C. En primera instancia, los bloques Clase A corresponden a aquel grupo con una resistencia promedio a la compresión, medida sobre el área neta a los 28 días de edad, no inferior a los 133 kg/cm<sup>2</sup>, usados obligatoriamente en aquellas construcciones con áreas superiores a los 1000 m<sup>2</sup> y de tres pisos de altura. Por otro lado, los bloques Clase B presentan una resistencia no menor a 90 kg/cm<sup>2</sup> y, finalmente los Clase C, con una resistencia no menor a los 75 kg/cm<sup>2</sup> (CSCR, 2010).

La Norma INTE C90 "Unidades de mampostería de concreto para uso estructural" define requisitos mínimos de espesores de caras externas e internas para un promedio de tres unidades de mampostería, tal y como se observa en la **Tabla 2-1**. Además, esta normativa establece requisitos de resistencia, absorción y clasificación de acuerdo con la densidad del bloque de concreto (ver **Tabla 2-2**).

**Tabla 2-1.** Requisitos mínimos de espesores según la Norma INTE C90.

Ancho nominal de las unidades (mm)	Espesor mínimo de las caras externas (mm)	Espesor mínimo alma (mm)
120	19	19
150	25	19
200	32	19

Fuente: (INTE C90, 2017)

Modificado por: (Sibaja, 2023)

**Tabla 2-2.** Requisitos de resistencia, absorción y clasificación de acuerdo con la densidad.

Clasificación por densidad	Densidad seca al horno (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua máxima (kg/m <sup>3</sup> )		Resistencia mínima a compresión sobre el área neta (MPa)	
	Promedio de tres unidades	Promedio de tres unidades	Unidades individuales	Promedio de tres unidades	Unidades individuales
Peso liviano	Menor de 1680	288	320	13,0	11,8
Peso intermedio	De 1680 a menos de 2000	240	272	13,0	11,8
Peso normal	Mayor o igual que 2000	208	240	13,0	11,8

Fuente: (INTE C90, 2017)

### 2.1.2 Mortero de pega

El mortero consiste en una mezcla de cemento y cal o cemento de mampostería, agregados y agua, el cual tiene como función adherir los bloques de concreto dentro de un ensamble de tal forma que se comporten como un elemento global con características de comportamiento deseadas, las cuales a su vez influyen directamente en las propiedades estructurales de la mampostería (INTE C91, 2015).

#### 2.1.2.1 Tipos de mortero

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de mortero, donde se puede mencionar el M, S, N y O, los cuales presentan características distintivas. A continuación, se describe cada tipo de mortero en la **Tabla 2-3**.

**Tabla 2-3.** Características de los tipos de mortero.

Tipo de mortero	Resistencia	Trabajabilidad
Tipo M	Alta	Pobre
Tipo S	Mediana	Adecuada
Tipo N	Baja	Alta
Tipo O	-	Alta

Fuente: (Navas, 2022)

La norma ASTM C270 establece los requerimientos de resistencia según el tipo mortero, estos valores se resumen en la **Tabla 2-4**.

**Tabla 2-4.** Resistencia requeridas de acuerdo con el tipo de mortero.

<b>Tipo de mortero</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M	175
S	126
N	53
O	25

Fuente: (ASTM C270, 2014)

### **2.1.2.2 Propiedades**

La Norma INTE C91 "Mortero para unidades de mampostería" menciona que los morteros de mampostería presentan dos diferencias en sus propiedades de acuerdo con su estado: morteros en condición plástica y morteros endurecidos. En primera instancia, las propiedades del mortero en condición plástica delimitan la facilidad de construcción de mampostería, las cuales se encuentran estrictamente relacionadas con las propiedades del mortero endurecido, y, por ende, con las obras estructurales finalizadas. Dentro de las propiedades plásticas del mortero que permiten su correcta fabricación se encuentra la trabajabilidad y la retención de agua, mientras que, para el caso del mortero endurecido, las propiedades que delimitan el comportamiento esperado de la mampostería son la adherencia y la resistencia a la compresión.

#### *2.1.2.2.1 Trabajabilidad*

La trabajabilidad corresponde a la propiedad del mortero que permite la colocación de la mezcla mediante una cuchara de albañilería en las unidades de mampostería de una forma fácil y sin generar ningún tipo de derrame. Además, el mortero trabajable debe ser capaz de soportar el peso propio de las unidades de mampostería y facilitar su alineamiento (INTE C91, 2015).

#### *2.1.2.2.2 Retención de agua*

La retención del agua es una magnitud de la propiedad del mortero para detener su agua de mezclado bajo las condiciones de evaporación y absorción de las unidades de mampostería. Esta propiedad del mortero brinda un lapso adecuado a la mano de obra para llevar a cabo la colocación y el ajuste de los bloques de concreto sin que la mezcla de mortero se endurezca (INTE C91, 2015).

#### *2.1.2.2.3 Adherencia*

Corresponde a la capacidad del mortero de adherirse a la superficie del material en el cual está siendo colocado (unidades de mampostería). Esta propiedad se ve afectada por la rugosidad de

la superficie, es decir, cuanto más rugosa sea el área de contacto, mejor es la adherencia. Cabe mencionar que esta propiedad abarca la resistencia a la tensión cuando se procura liberar el mortero de las unidades de mampostería, la resistencia contra el deslizamiento por corte y la resistencia a la flexión generado por la separación de la mezcla y los bloques de concreto (Román, 2005).

#### 2.1.2.2.4 Resistencia a la compresión

Drysdale, et all (2008) menciona que la resistencia a la compresión del mortero es una propiedad significativa debido a que tiene inherencia en la resistencia a la compresión de la mampostería, y, además, es empleado como un parámetro de control de calidad. Esta propiedad del mortero se determina mediante los lineamientos establecidos en la Norma INTE C57 "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm. Método de ensayo".

### **2.1.3 Concreto de relleno**

El concreto de relleno consiste en una mezcla de cemento, agua y agregados, el cual tiene como función completar las celdas de los bloques que presentan refuerzo horizontal y vertical. Es un componente importante dentro de la mampostería puesto que brinda la adherencia de los bloques con el acero de refuerzo, permitiendo una adecuada transferencia de los esfuerzos (CSCR, 2010). Por otra parte, el concreto debe presentar una consistencia tal que se pueda realizar el proceso de llenado de las celdas por gravedad, esto para evitar el fenómeno de segregación. De acuerdo con el anexo A del CSCR 2010-14 denominado "Requisitos complementarios para mampostería estructural", el concreto debe presentar un revenimiento de 20 a 25 cm, asimismo, esta normativa define las resistencias que deben tener los tipos de concreto de relleno, estos valores se muestran en la **Tabla 2-5**.

**Tabla 2-5.** Valores de resistencia para los diferentes tipos de concreto de relleno.

<b>Tipo de concreto de relleno</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Tipo A	175
Tipo B	140
Tipo C	120

Fuente: (CSCR 2010-14, Sección A.1)

La norma INTE C56 "Concreto de relleno para mampostería, muestreo y método de ensayo" establece los lineamientos para el muestreo en sitio y en laboratorio del concreto de relleno para

mampostería. Así mismo, esta norma define el procedimiento del ensayo para obtener la resistencia a la compresión del concreto de relleno.

## 2.2 Prismas de mampostería

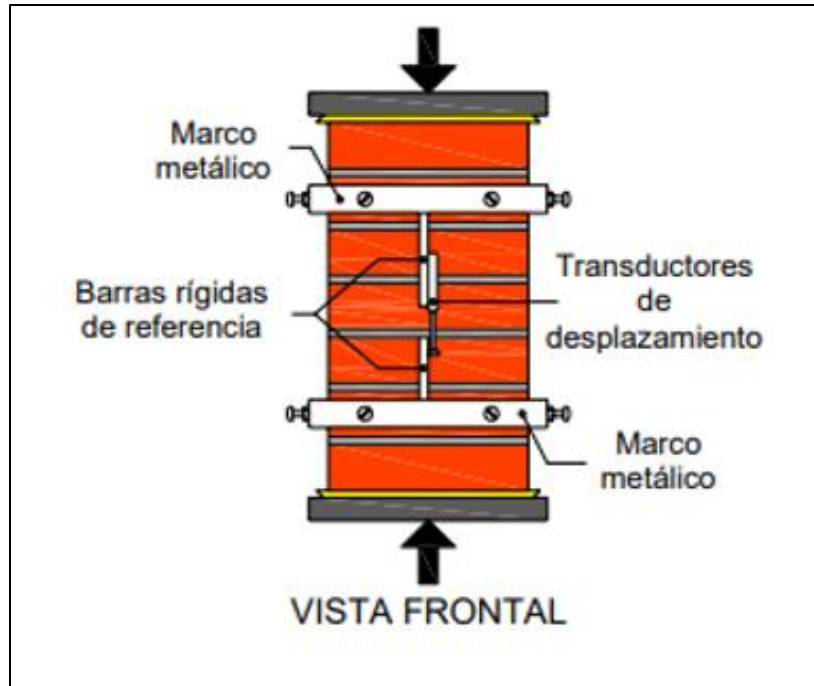
La mampostería es un material compuesto donde su resistencia depende en gran medida de la resistencia individual de los elementos que la conforman, siendo de gran interés, en términos de diseño, el estandarizar las resistencias de los materiales individuales, con la finalidad de brindar insumos de resistencia mínima a los diseñadores, con los cuales puedan sustentar sus cálculos (Abarca & González, 2017). Dicho lo anterior, mediante la norma INTE C55 "Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería" se estandarizan los ensayos de compresión haciendo uso de los prismas de mampostería, los cuales consisten en la unión de bloques de concreto mediante una junta de mortero (ver **Figura 2-1**).



**Figura 2-1.** Elaboración de prismas de mampostería.  
Fuente: (INTE C55, 2015)

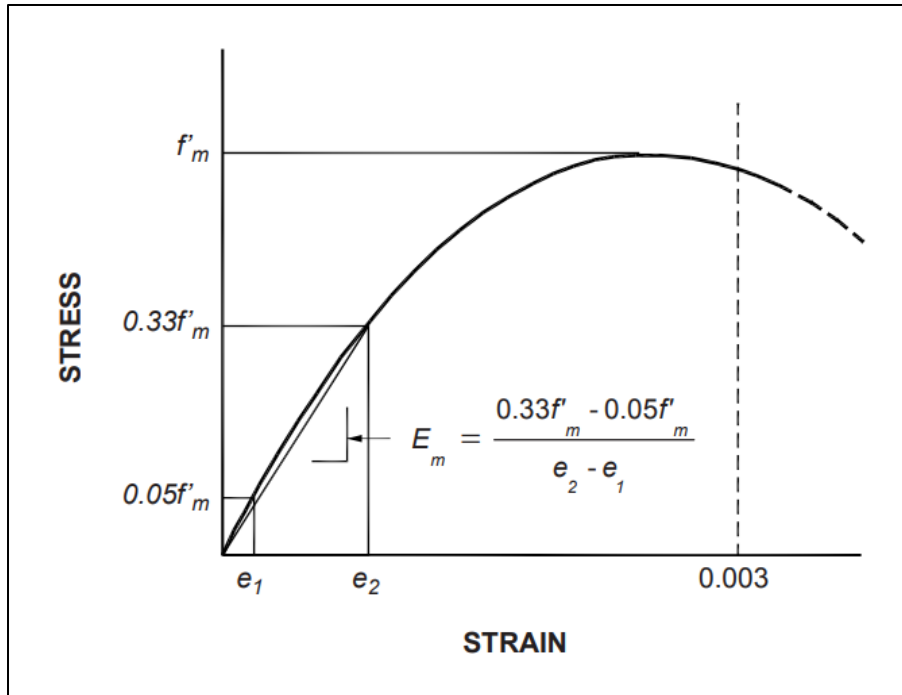
## 2.3 Curva de esfuerzo en función de la deformación

Para determinar la curva de esfuerzo en función de la deformación de la mampostería se requiere elaborar ensayos de compresión sobre especímenes representativos de muros de mampostería. Para ello se definen montajes experimentales como el de la **Figura 2-2**, los cuales permiten determinar dicha curva (Flores, 2010).



**Figura 2-2.** Montaje experimental para realizar ensayos de compresión en mampostería.  
Fuente: (Flores, 2010)

En la **Figura 2-3** se muestra la curva esfuerzo-deformación típica de la mampostería, la cual es útil, puesto que brinda insumos para determinar el módulo de elasticidad. Dicho lo anterior, el CSCR 2010-14 en la **Sección 9.3.4** señala que este parámetro debe determinarse a través del método de la secante, en el cual se obtiene la pendiente de una recta definida por los puntos correspondientes a  $0,05 f'_{m}$  y a  $0,33 f'_{m}$ , tal y como se aprecia en la **Figura 2-3**.



**Figura 2-3.** Curva de esfuerzo-deformación de la mampostería.  
Fuente: (James & Porter, 2009)

## 2.4 Resistencia a la compresión

El desempeño de la mampostería se expresa en términos de la resistencia a la compresión ( $f'_m$ ). Este valor se debe determinar al someter a ensayos experimentales los prismas de mampostería. De acuerdo con la sección A.2 del CSCR 2010-14 estos prismas deben ser construidos con los mismos materiales y mano de obra que se emplean en la construcción de la obra. Además, indica que los prismas deben ser ensayados con base a los lineamientos de la norma INTE C55 (Método de ensayo para determinar la resistencia a compresión de prismas de mampostería). Por otra parte, esta normativa señala valores mínimos para la resistencia a la compresión para las distintas clases de mampostería, las cuales se muestran en el **Tabla 2-6**.

**Tabla 2-6.** Valores mínimos para la resistencia a compresión de acuerdo con la clase de mampostería

Tipo de mampostería	$f'_m$ sobre el área neta ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
A	100
B	70
C	60

Fuente: (CSCR 2010-14, Sección A.2)



De esta forma, la resistencia a la compresión se obtiene mediante la expresión [3] y el módulo de elasticidad como se muestra en la ecuación [4].

$$f'_m = \frac{P_{\max}}{A_n} \quad [3]$$

$$E_m = \frac{0,33f'_m - 0,05f'_m}{e_2 - e_1} \quad [4]$$

Donde:

$f'_m$ : Resistencia a la compresión de la mampostería

$P_{\max}$ : Carga máxima

$A_n$ : Área neta de la mampostería

$E_m$ : Módulo de elasticidad de la mampostería

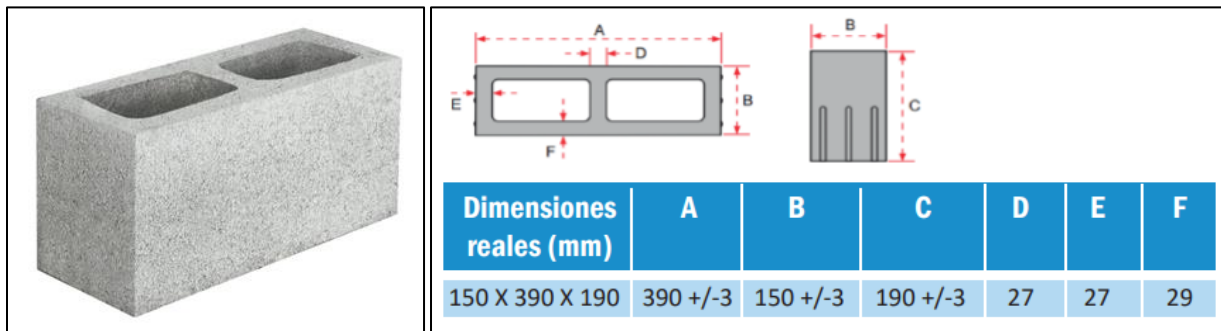
$e$ : Deformación

## Capítulo 3. Programa experimental

### 3.1 Caracterización de materiales

#### 3.1.1 Bloques de 15x20x40 cm

Para la elaboración de los especímenes de ensayo se emplearon unidades de mampostería de 15x20x40 cm, tal y como se observa en la **Figura 3-1**. Para caracterizar este material, se siguieron los lineamientos definidos en la Norma INTE C50. Esta norma indica que los especímenes seleccionados deben ser de configuración y dimensiones similares, además, deben ser representativos de todo el lote de unidades. De esta manera, para términos de la obtención de los parámetros de resistencia a la compresión, absorción, densidad y contenido de humedad, se utilizaron un total de 4 bloques



**Figura 3-1.** Unidades de mampostería empleadas en el estudio.  
Fuente: (Concrepal, 2023)

#### 3.1.2 Mortero de pega

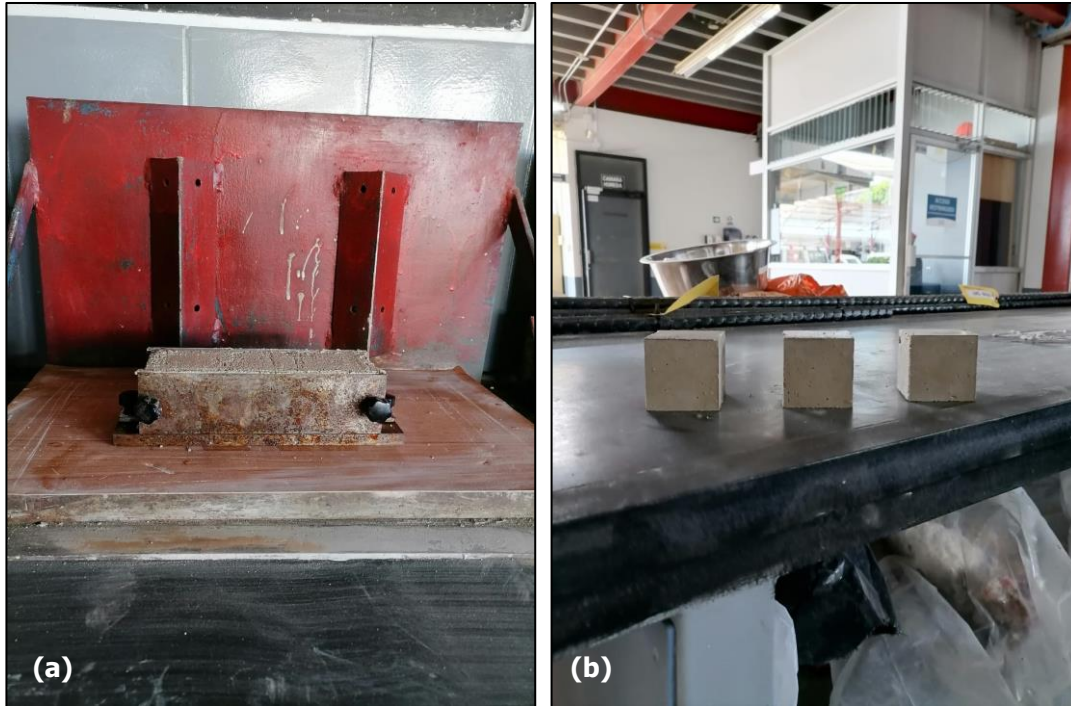
Para la elaboración de los prismas de mampostería se emplearon morteros preempacados tipo M, N y S, donde la dosificación empleada para la fabricación de la mezcla fue de 6,0 L por cada saco de mortero de 40 kg, esto con base en las recomendaciones indicadas en la ficha técnica del fabricante. En la **Figura 3-2** se observa la fabricación del mortero de pega para ser colocado sobre los especímenes de ensayo.



**Figura 3-2.** Elaboración del mortero de pega.

Chaves (2016) menciona que una buena práctica para corroborar la propiedad de trabajabilidad de la mezcla del mortero durante el proceso de construcción corresponde a la prueba de la cuchara invertida. Esta prueba consiste en la colocación de una porción del mortero sobre la cuchara del albañil, posteriormente se procede a invertir este elemento, donde se busca que el mortero no se desprenda de la cuchara. De esta forma, cuando la mezcla no se desprende de la cuchara, se tiene un mortero con la consistencia y trabajabilidad adecuada para la fabricación de los prismas de mampostería. En la **Figura 3-2** se muestra la corroboración de esta práctica durante la fabricación del mortero.

Para la determinación de las propiedades mecánicas del mortero se siguieron los lineamientos definidos en la Norma INTE C57/ASTM C109, las cuales indican que se debe proceder a la falla de cubos de 50 mm en compresión. Para la construcción de estos cubos de mortero se empleó el molde que se observa en la **Figura 3-3a**, en el cual se coloca una capa de mortero de 25 mm en cada uno de los compartimientos, donde posterior a ello se procede al apisonamiento del mortero. Este procedimiento se observa de forma gráfica en la **Figura 8-1**. Una vez finalizado el proceso del moldeo de los especímenes, se procedió al almacenamiento en el cuarto húmedo por un periodo de 24 horas, para posterior ello, continuar con el proceso de desmolde de los cubos de mortero (ver **Figura 3-3b**).



**Figura 3-3.** Fabricación de los cubos de mortero: (a) Molde empleado en la construcción de los cubos de mortero y (b) Desmolde de cubos de mortero.

### 3.1.3 Concreto de relleno

El concreto de relleno empleado en la construcción de los prismas de mampostería fue el CRC Convencional, el cual consiste en un microconcreto con agregados de granulometría controlada, donde su principal uso se centra en el relleno de bloques de concreto (INTACO, 2023). En la **Tabla 3-1** se muestran los datos técnicos de este material, donde cabe mencionar, que para términos del presente estudio se utilizó una dosificación de agua de 6,0 L por cada saco de 40 kg. Además, tal y como se aprecia en la **Figura 3-4**, para la fabricación del concreto de relleno se utilizó una batidora mecánica.

**Tabla 3-1.** Datos técnicos del concreto empleado en el estudio.

Parámetro	Valor
Dosificación de agua	5,0 L a 6,0 L
Rendimiento (Bloques de 15x20x40 cm)	6 a 7 celdas rellenas verticalmente
Revenimiento	20 cm – 25 cm
Tamaño máximo de partícula	<12 mm
Resistencia a la compresión a 28 días	≥ 17,2 MPa

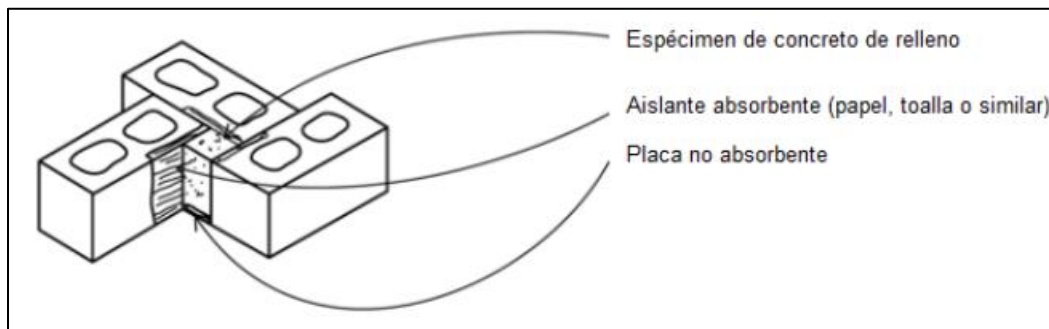
Fuente: (INTACO, 2023)

Modificado por: (Sibaja, 2023)



**Figura 3-4.** Fabricación del concreto de relleno.

Para la obtención de la propiedad mecánica de la resistencia a compresión del concreto se siguieron los lineamientos establecidos en la Norma INTE C56. Esta norma menciona que el espécimen debe ser fabricado en un molde conformado por unidades de mampostería del mismo tipo y condición de humedad que las utilizadas en la construcción. De esta forma, en la **Figura 3-5** se muestra el arreglo típico utilizado en el moldeo de prismas de concreto de relleno.



**Figura 3-5.** Molde empleado en la fabricación de los especímenes de concreto de relleno.

Fuente: (INTE C56, 2017)

En la **Figura 3-6** se muestra el procedimiento empleado en la construcción de los prismas de concreto de relleno, el cual responde a lo definido en la Norma INTE C56. En primera instancia, en la **Figura 3-6a** se observa el acomodo de las unidades de mampostería, mientras que en la

**Figura 3-6b** se aprecia los prismas de concreto de relleno debidamente desmoldados. Para términos del procedimiento de desmolde se trabajó con un periodo de 24 horas después de haber fabricado los especímenes. Además, cabe mencionar, que, en cuanto al proceso de curado de los prismas, estos se mantuvieron en el cuarto húmedo del LANAMME hasta la fecha del ensayo.

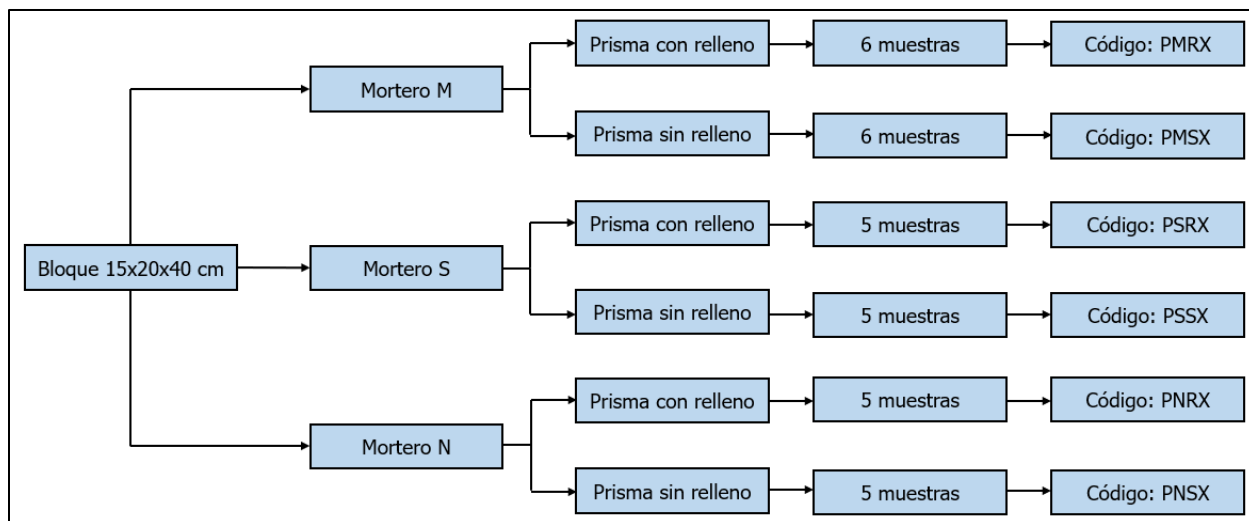


**Figura 3-6.** Prismas de concreto de relleno: (a) Arreglo usado en la fabricación de los prismas y (b) Prismas de concreto de relleno desmoldados.

### **3.2 Elaboración de los especímenes de ensayo**

Para el desarrollo de la investigación se elaboraron 32 prismas de mampostería en total bajo diferentes combinaciones de variables para ser sometidos a ensayos de compresión. Para la fabricación de los especímenes de ensayo se empleó el arreglo descrito en la Norma INTE C55 (ver **Figura 2-1**), el cual consiste en la colocación de dos unidades de mampostería completas unidas de forma vertical mediante el mortero de pega.

En la **Figura 3-7** se puede observar las combinaciones de especímenes que fueron sometidos a ensayos de compresión, así como los códigos definidos para cada prisma de mampostería.



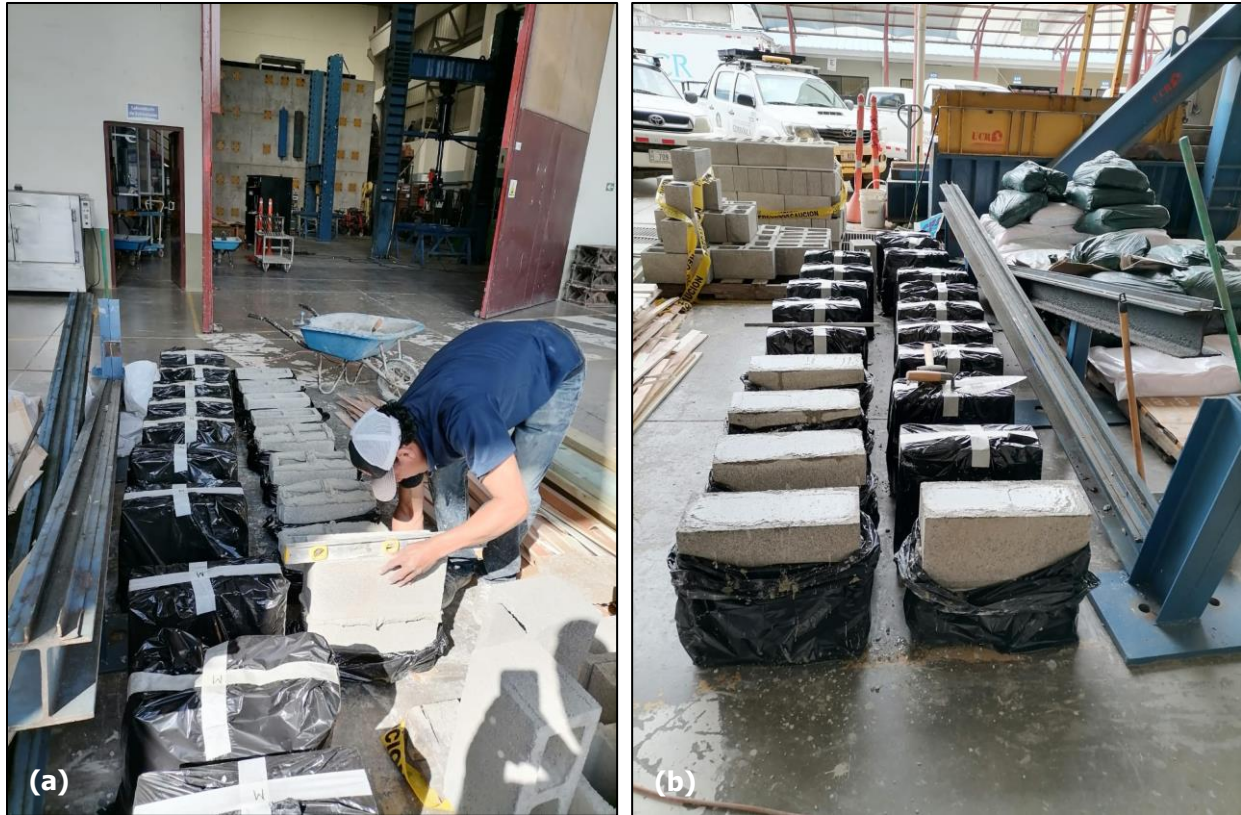
**Figura 3-7.** Combinación de variables empleadas en la fabricación de los especímenes de ensayo.

### 3.2.1 Proceso de construcción

En primera instancia, se procedió a colocar las unidades de mampostería dentro de una bolsa impermeable, tal y como se establece en la Norma INTE C55. Una vez finalizado este proceso, se continuó con la fabricación del mortero de pega de acuerdo con lo establecido en la **Sección 3.1.2**. Posteriormente se llevó a cabo la colocación del mortero de pega sobre las unidades de mampostería, dicho proceso se puede observar en la **Figura 3-8a**.

Una vez colocado el mortero de pega, se continuó con la colocación de la segunda unidad de mampostería. En esta etapa, se corroboró que el prisma tuviera un espesor de la junta horizontal en el rango de 0,6 a 1,6 cm, mediante la utilización de una cinta métrica. Navas (2022) menciona que cuando se realiza la colocación de las unidades de mampostería se debe de cuidar la alineación tanto vertical como horizontal, es decir, se debe corroborar el nivel durante la fabricación del espécimen. Este proceso se controló mediante la utilización de un nivel de burbuja, tal y como se aprecia en la **Figura 3-8a**.

Por último, al estar contruidos todos los especímenes de ensayo, se procedió a cerrar las bolsas impermeables de tal forma que los prismas de mampostería no perdieran humedad, esto siguiendo los lineamientos definidos en la Norma INTE C55.



**Figura 3-8.** Construcción de los especímenes de ensayo: (a) Colocación del mortero de pega y nivelación de prismas y (b) Colado del concreto de relleno.

Para el caso de los prismas rellenos, la Norma INTE C55 brinda un periodo para proceder con el colado del concreto. Esta normativa menciona que los prismas se deben rellenar en un periodo no menor a 4 horas ni más de 48 horas después de ser confeccionados los especímenes de ensayo. De esta manera, se decidió que, pasadas las 4 horas de fabricación de los prismas, continuar con la etapa de la elaboración y colado del concreto de relleno. Para proceder con esta etapa, se inició con la apertura de las bolsas impermeables que contenían los especímenes de ensayo. Además, se removió el excedente de mortero que se encontraba en las paredes internas de los especímenes, de tal manera que no se presentaran interferencias durante el colado de los prismas.

Para la fabricación del concreto de relleno se siguió el procedimiento descrito en la **Sección 3.1.3**. Una vez finalizado la etapa de la elaboración del concreto, se procedió al traslado de la mezcla hacía la zona donde se encontraban los prismas de mampostería, este proceso se llevó a cabo mediante la utilización de un carretillo, tal y como se observa en la **Figura 3-4**. Una vez rellenos los especímenes de ensayo, se retiraron los excesos en la parte superior del prisma y se



le brindo un acabado plano con una llaneta, para finalmente, proceder con el cierre de las bolsas impermeables.

### **3.2.2 Curado**

Para el proceso de curado se siguió el procedimiento descrito en la Norma INTE C55, la cual menciona que los prismas se deben conservar en una zona plana dentro de las bolsas impermeables, en un área con una temperatura de  $24 \pm 8$  °C.

### **3.2.3 Coronamiento**

Para el coronamiento de los especímenes de ensayo se empleó el procedimiento descrito en la Norma INTE C53. Para la fabricación de la mezcla empleada en esta etapa se usó cemento de alta resistencia junto con yeso, con una proporción por volumen de 2:2.

#### **3.2.3.1 Prismas de concreto de relleno**

En la **Figura 3-9** se muestra el proceso de coronamiento de los prismas de concreto de relleno. En primera instancia, en la **Figura 3-9a** se muestra el equipo utilizado en este proceso. Este equipo se conforma por una placa metálica en la parte inferior del prisma, la cual tiene como objetivo mantener la planicidad de las caras de los prismas. Además, este montaje presenta una guía vertical que facilita la colocación del espécimen durante la etapa del coronamiento. De esta manera, en la **Figura 3-9b** se describe de forma gráfica el procedimiento empleado en esta fase, donde se inició con la preparación de la mezcla, posteriormente, se llevó a cabo la colocación de esta mezcla sobre la placa del equipo, para finalmente proceder con la disposición de los especímenes sobre este arreglo y la corroboración de los niveles (ver **Figura 3-9c**).



**Figura 3-9.** Proceso de coronamiento de los prismas de concreto de relleno: (a) Equipo utilizado para el coronamiento, (b) Vista frontal de los especímenes y (c) Corroboración del nivel en los especímenes.

### 3.2.3.2 Prismas de mampostería de concreto

Para el coronamiento de los prismas de mampostería se empleó un procedimiento análogo al descrito en la sección anterior. De esta forma, en la **Figura 3-10** se observa dicho proceso.



**Figura 3-10.** Coronamiento de los especímenes de ensayo: (a) Vista superior de los prismas de mampostería con su debido coronamiento y (b) Montaje empleado en el proceso de coronamiento.

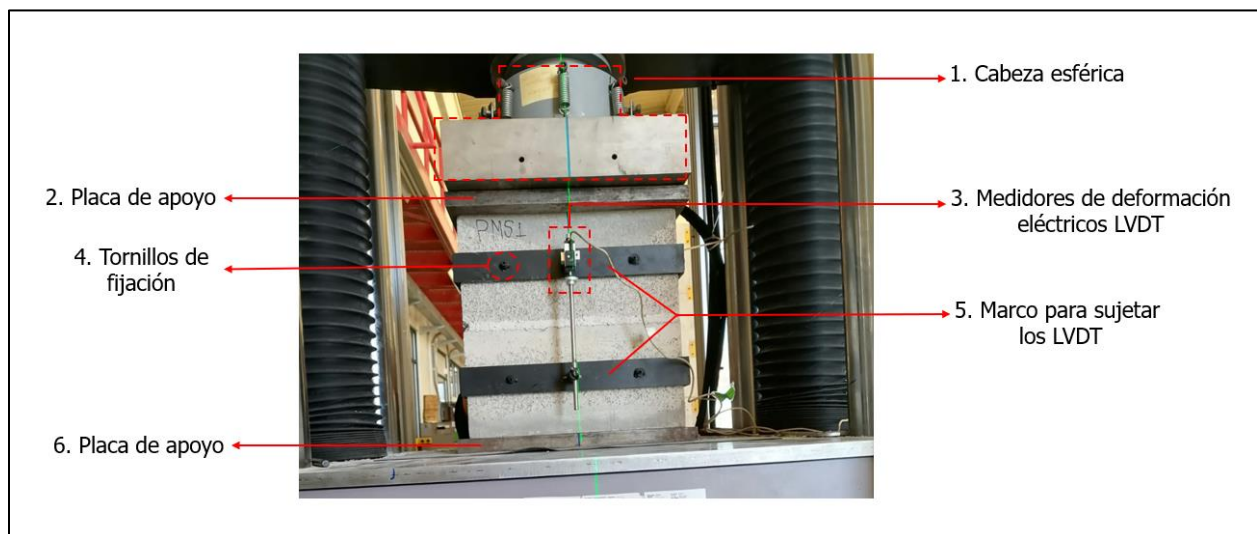
## Capítulo 4. Montaje experimental

En el presente capítulo se aborda el montaje experimental seguido en esta investigación. Los ensayos realizados fueron 4 tipos a saber: compresión de unidades de mampostería, compresión de concreto de relleno, compresión de morteros de pega y compresión de prismas de mampostería.

### 4.1.1 Instrumentación

Los especímenes de ensayo construidos se fallaron mediante la utilización de máquinas universales para las pruebas de compresión de las unidades de mampostería, del mortero, de los prismas de concreto de relleno y de los prismas de mampostería. De esta forma, mediante el montaje experimental que se muestra en la **Figura 4-1**, se procedió a cargar cada uno de los prismas de mampostería hasta alcanzar su punto de falla. Este proceso se llevó a cabo mediante dos equipos: la máquina universal TMS-64 y la máquina de los LVDT's.

En primera instancia, por medio de la máquina TMS-64 se registraron los valores de carga aplicados a los especímenes durante el periodo del ensayo, mientras que en la máquina de los LVDT's se registraron los desplazamientos asociados en cada una de las caras del prisma de ensayo. Mediante los datos registrados por estos equipos, se logró elaborar las curvas de esfuerzo en función de la deformación para cada espécimen, representación gráfica que facilitó la obtención de los parámetros de resistencia máxima, módulo de elasticidad y deformación unitaria.



**Figura 4-1.** Montaje experimental usado en el estudio.

### 4.1.2 Diseño del aditamento

Para la medición de las deformaciones se procedió a diseñar el aditamento que se observa en la **Figura 4-2**. Tal y como se aprecia en la figura, este montaje se encuentra conformado por dos anillos de aluminio (superior e inferior), un sistema de placas removibles para asegurar la longitud de control, ocho tornillos de punta para sostener el montaje al espécimen de ensayo y una pieza para sujetar los LVDT's. De esta forma, mediante este arreglo experimental se facilitó la colocación de los medidores de deformación eléctricos (Linear Variable Differential Transformer, por sus siglas en inglés LVDT) con los cuales se pudo determinar la deformación unitaria asociada a la carga aplicada para cada uno de los especímenes de ensayo.

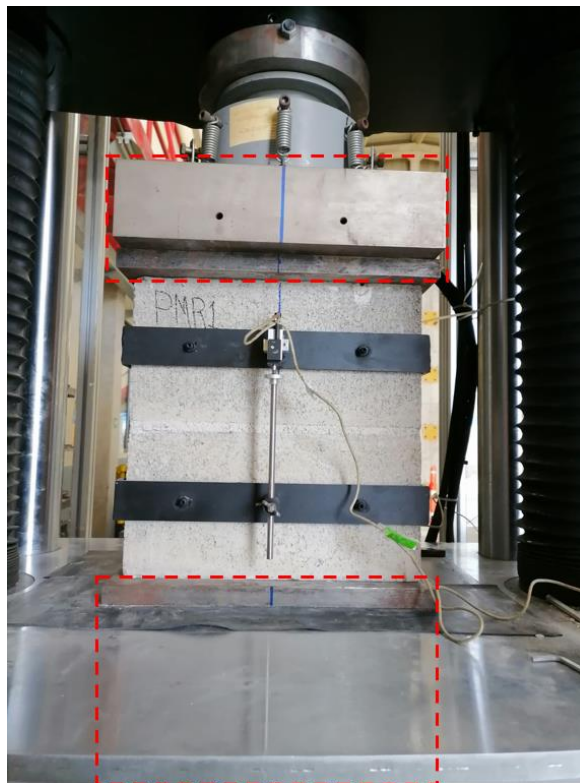


**Figura 4-2.** Diseño del aditamento empleado en el estudio: (a) Placa removible utilizada para asegurar la longitud de control, (b) Tornillos de fijación y (c) Pieza para sujetar el LVDT.

### 4.1.3 Diseño de las placas del montaje

Para el diseño de las placas del montaje se siguieron las especificaciones técnicas de la norma ASTM C1716. Esta norma indica que el espesor de la placa de carga se encuentra delimitado por

el diámetro de la cabeza esférica y el tamaño del espécimen de ensayo, el cual a su vez no puede ser inferior a 25 mm. De esta manera, la máquina TMS-64 empleada en el estudio contaba con una cabeza esférica de 403,3 mm de diámetro, parámetro que sirvió de insumo para determinar el espesor de la placa inferior y superior del montaje, obteniendo como resultado un ancho de placa de 25,4 mm. En la **Figura 4-3** se señalan las placas diseñadas en el presente estudio.



**Figura 4-3.** Placas utilizadas durante los ensayos de compresión.

#### **4.1.4 Protocolo de carga de la máquina TMS-64**

Para la definición del protocolo de carga de la máquina TMS-64 se siguieron los lineamientos establecidos en la Norma INTE C-55. Esta norma indica que, para prismas contruidos, se debe aplicar una carga inicial al espécimen hasta la mitad de la carga total esperada a una velocidad conveniente, sin embargo, para la carga restante del ensayo se debe seleccionar una velocidad uniforme en un tiempo no menor de 1 min ni mayor a 2 min. De esta forma, para satisfacer este requerimiento de la norma, se fabricaron dos especímenes de prueba, un prisma con la presencia de concreto de relleno y otro sin relleno, esto para poder determinar la velocidad de carga. Por lo tanto, al realizar estos ensayos de prueba, se logró determinar una velocidad de 1 mm/min para los especímenes rellenos y una velocidad de 0,7 mm/min para los prismas vacíos.

## Capítulo 5. Presentación y análisis de resultados

En este capítulo se presentan y analizan los resultados experimentales obtenidos para cada uno de los ensayos realizados.

### 5.1 Bloques de 15x20x40 cm

En la **Tabla 5-1** se muestran las dimensiones de las unidades de mampostería empleadas en el estudio. Además, en la **Sección 9.1** se puede observar con mayor detalle las dimensiones asociadas a cada parámetro.

**Tabla 5-1.** Dimensiones de las unidades de mampostería.

Parámetro	Unidad	Especimen				Promedio
		Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	
Ancho (W)	mm	151	152	151	151	151
Altura (H)	mm	193	192	193	192	193
Longitud (L)	mm	391	392	392	392	392

En la **Tabla 5-2** se agrupan los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas de las unidades de mampostería. Al correlacionar estos resultados con los lineamientos establecidos en la Norma INTE C90 (ver **Tabla 2-2**) se puede concluir que los especímenes sometidos a ensayo en el presente estudio se clasifican como de peso normal, puesto que se reportaron valores de densidad seca al horno superiores a los 2000 kg/m<sup>3</sup> y absorciones inferiores al valor máximo indicado en esta normativa.

**Tabla 5-2.** Propiedades de las unidades de mampostería.

Parámetro	Unidad	Especimen				Promedio
		Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	
Peso recibido ( $W_r$ )	kg	13,05	13,30	13,55	13,55	13,35
Peso sumergido ( $W_i$ )	kg	7,50	7,75	7,80	7,75	7,70
Peso saturado ( $W_s$ )	kg	13,50	13,70	14,00	13,95	13,80
Peso seco al horno ( $W_D$ )	kg	12,40	12,85	12,70	12,80	12,70
Absorción	kg/m <sup>3</sup>	183	143	210	185	180
Contenido de humedad	%	59,1	53,0	65,4	65,2	60,7
Densidad (D)	kg/m <sup>3</sup>	2067	2160	2048	2065	2085
Volumen neto ( $V_n$ )	cm <sup>3</sup>	5999	5949	6201	6199	6087
Área neta ( $A_n$ )	mm <sup>2</sup>	31083	30984	32130	32286	31621

En la **Tabla 5-3** se resumen las resistencias a la compresión obtenidas para las unidades de mampostería individual. Estos resultados demuestran que el 100 % de las unidades de mampostería cumplen con los valores de resistencia definidos en el CSCR 2010-14 en su **Sección A.1** para mampostería clase A, además los resultados cumplen en su totalidad con los valores mínimos de resistencia a compresión definidos en la Norma INTE C90.

**Tabla 5-3.** Resistencia a la compresión de las unidades de mampostería.

<b>Espécimen</b>	<b>Carga máxima (KN)</b>	<b>Área neta promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Unidad 1	569,8	31621	18,0	183,7
Unidad 2	542,5	31621	17,2	174,9
Unidad 3	584,5	31621	18,5	188,4
Unidad 4	615,9	31621	19,5	198,5
<b>Promedio</b>			<b>18,3</b>	<b>186,4</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>			0,96	9,83
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>			5,26	5,27

## 5.2 Mortero de pega

Tal y como se estableció en la **Sección 2.1.2** del presente estudio (ver **Tabla 2-4**), la norma ASTM C270 (2014) establece los requerimientos de resistencia según el tipo mortero, de esta manera, esta normativa clasifica los morteros en tipo M, S, N y O. Por otra parte, a nivel local, el CSCR 2010-14 en su **Sección A.1.4** clasifica los morteros según su resistencia a compresión medida en cubos a los 28 días de edad, en morteros tipo A, B y C, con resistencias mínimas de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 126 kg/cm<sup>2</sup> y 53 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. De esta forma, Navas (2015) menciona que se podría establecer una equivalencia entre los morteros definidos en el CSCR 2010-14 y los indicados en la norma ASTM C270, donde la sigla A es equivalente a un mortero tipo M, la B a un mortero tipo S y la C a un mortero tipo N.

En la **Tabla 5-4** se muestran los valores de resistencia obtenidos para el mortero tipo M. Se observa que se obtuvo un valor promedio de resistencia de 13,2 MPa (134,6 kg/cm<sup>2</sup>), con una desviación estándar de 0,87 MPa (9,18 kg/cm<sup>2</sup>) y un coeficiente de variación de 7 %. En cuanto a la resistencia obtenida, se observa que el valor promedio se encuentra por debajo del mínimo indicado en el CSCR 2010-14 y en la norma ASTM C270, específicamente un 23 %. Además, los valores obtenidos para la desviación estándar y el coeficiente de variación demuestran una baja variabilidad de los resultados, lo cual es de esperar, puesto que se trabajó con mortero preempacado con una misma dosificación.



**Tabla 5-4.** Resistencia a la compresión del mortero tipo M.

<b>Espécimen</b>	<b>Carga máxima (KN)</b>	<b>Área cubos (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Unidad 1	34,3	2500	13,7	139,9
Unidad 2	30,4	2500	12,2	124,0
Unidad 3	34,3	2500	13,7	139,9
<b>Promedio</b>			13,2	134,6
<b>Desviación estándar (S)</b>			0,87	9,18
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>			6,56	6,82

Como se mencionó anteriormente el mortero tipo S definido en la norma ASTM C270 debe cumplir con una resistencia mínima a la compresión de 126 kg/cm<sup>2</sup>, el cual a su vez se establece en el CSCR 2010-14 como mortero tipo B. En la **Tabla 5-5** se observa que la resistencia obtenida para el mortero S no cumplió con los requerimientos de la norma, puesto que los tres especímenes analizados mostraron resistencias menores a las indicadas en la normativa, reportándose un valor promedio de resistencia de 8,0 MPa (81,6 kg/cm<sup>2</sup>), siendo este valor un 35 % inferior al mínimo. En cuanto a la desviación estándar, se obtuvo un valor de 0,52 MPa (5,32 kg/cm<sup>2</sup>) con un coeficiente de variación aproximado de 7%, valores que se encuentran asociados a la baja variabilidad de los resultados.

**Tabla 5-5.** Resistencia a la compresión del mortero tipo S.

<b>Espécimen</b>	<b>Carga máxima (KN)</b>	<b>Área cubos (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Unidad 1	21,5	2500	8,6	87,7
Unidad 2	19,3	2500	7,7	78,7
Unidad 3	19,2	2500	7,7	78,3
<b>Promedio</b>			8,0	81,6
<b>Desviación estándar (S)</b>			0,52	5,32
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>			6,50	6,51

En la **Tabla 5-6** se resumen los resultados obtenidos para el mortero tipo N. En este caso se reportó un valor promedio de resistencia de 6,6 MPa (67,1 kg/cm<sup>2</sup>), el cual cumple con los valores definidos en la norma ASTM C270 (2014) y el CSCR 2010-14. De esta manera, se observa que de los tres tipos de mortero empleados en el estudio (M, S y N), solamente los resultados asociados al mortero tipo N alcanzaron los valores indicados en la norma ASTM C270 y el CSCR 2010-14.

**Tabla 5-6.** Resistencia a la compresión del mortero tipo N.

<b>Espécimen</b>	<b>Carga máxima (KN)</b>	<b>Área cubos (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Unidad 1	15,8	2500	6,3	64,4
Unidad 2	17,0	2500	6,8	69,3
Unidad 3	16,6	2500	6,6	67,7
<b>Promedio</b>			6,6	67,1
<b>Desviación estándar (S)</b>			0,25	2,50
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>			3,81	3,72

Tal y como se definió en la **Sección 3.1.2** del presente estudio, la caracterización realizada al mortero de pega se centró en dos propiedades a saber: en primera instancia, durante el proceso de construcción de los prismas de mampostería se procedió a realizar la prueba de la cuchara invertida, la cual se centró específicamente en la corroboración de la propiedad de trabajabilidad. Por otra parte, se siguieron los lineamientos definidos en la Norma INTE C57/ ASTM C109 para la determinación de las propiedades mecánicas del mortero, específicamente la resistencia a la compresión medida en cubos de mortero, no obstante, hay autores que mencionan otros parámetros que se deben de controlar para no interferir en propiedades como la resistencia.

Entre los parámetros encontrados que podrían afectar la resistencia a compresión del mortero, se encuentra el mencionado por Navas (2015) sobre el contenido de aire en la mezcla de mortero, el cual puede favorecer la trabajabilidad, puesto que los vacíos son llenados por burbujas de aire que posibilitan el roce entre partículas, sin embargo, el exceso de aire en la mezcla podría interferir con la resistencia, razón por la cual se definen límites máximos para este parámetro. Estos valores máximos se establecen en la norma ASTM C270, la cual define valores de 18%, 18% y 20% para el contenido de aire de morteros tipo M, S y N, respectivamente.

Por otro lado, en la **Tabla 5-7** se muestran los resultados obtenidos asociados a la determinación del flujo para cada uno de los tipos de mortero empleados en el estudio. Cabe mencionar que, para la elaboración de estos ensayos, se extrajo el material de sacos diferentes a los usados en la fabricación de los prismas de mampostería, sin embargo, formaban parte del mismo lote de morteros.

**Tabla 5-7.** Determinación del flujo para cada uno de los tipos de mortero empleados en el estudio bajo condiciones de laboratorio.

Tipo de mortero	Dosificación	Temperatura (°C)	Flujo (cm)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
M	0,38 L (2 kg)	24,1	114,5	9,2	93,4
S	0,30 L (2kg)	23,9	105,0	13,2	134,1
N	0,30 L (2kg)	22,7	115,0	5,9	60,7

**Nota:** Las resistencias reportadas en la **Tabla 5-7** se determinaron bajo condiciones de laboratorio, según lo dispuesto en la norma INTE C57 (2022).

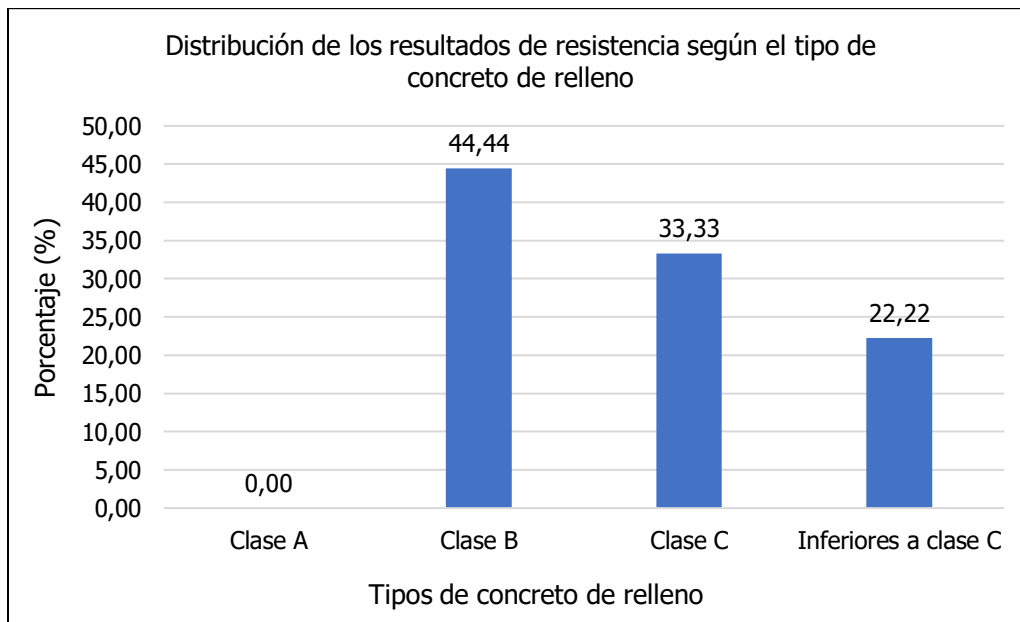
La norma que define los lineamientos para determinar el flujo del mortero corresponde a la norma INTE C57. Esta normativa menciona que la cantidad de agua presente en la mezcla debe facilitar un flujo de  $110 \pm 5$ , con una temperatura de  $23 \pm 3$  °C. De esta forma, en la **Tabla 5-7** se observa que se logró alcanzar satisfactoriamente los valores de flujo y de temperatura definidos en la norma. Al analizar los valores de resistencia obtenidos para cada uno de los morteros bajo condiciones de laboratorio, se muestra que el mortero tipo S y N alcanzaron resistencias superiores a la mínima definida en la norma ASTM C270, mientras que el mortero tipo M se quedó relativamente por debajo del valor de resistencia mínima. De esta manera, la resistencia del mortero tipo M se encuentra en un 46,6 % inferior a la mínima, mientras que para el mortero tipo S y N, la resistencia obtenida es un 6,4 % y 14,5 % superior a la indicada por la norma, respectivamente.

### 5.3 Concreto de relleno

En la **Tabla 5-8** se muestran los valores de resistencia obtenidos al someter a ensayos de compresión a los 9 prismas de concreto de relleno. Al realizar una comparación con las resistencias mínimas que define el CSCR 2010-14 en su anexo A.1 (ver **Tabla 2-5**) se logra observar que ninguno de los valores reportados alcanza la resistencia mínima para mampostería clase A. Asimismo, en la **Figura 5-1** se puede observar que la mayoría de los resultados reportados se asocian a los tipos de concreto de relleno clase B y C, donde se reportaron valores del 44,4 % y de 33,3%, respectivamente. Es importante destacar, que el 22,2 % de los especímenes no alcanzaron ni tan siquiera la resistencia mínima que establece el CSCR 2010-14 para concretos de relleno de mampostería clase C, el cual corresponde a  $120 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 5-8.** Resistencia del concreto de relleno empleado en la fabricación de los prismas de mampostería.

Especímen	Carga	Área	Resistencia ( $f'g$ )	Resistencia ( $f'g$ )
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PMR	156,92	9805	16,02	163,18
PSR	108,85	8930	12,20	124,57
PNR	103,55	8401	12,32	125,58
<b>Promedio</b>			13,51	137,78
<b>Desviación estándar (S)</b>			2,17	22,01
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>			16,07	15,97



**Figura 5-1.** Distribución de los resultados de resistencia según el tipo de concreto de relleno.

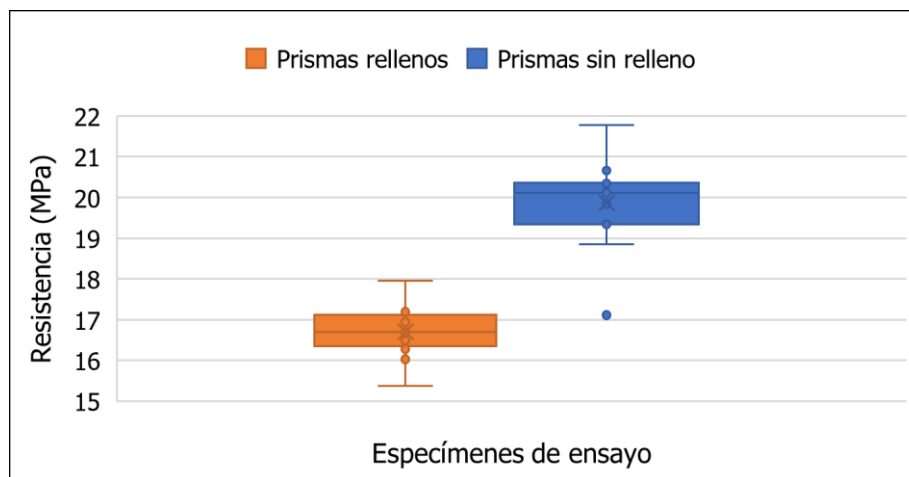
#### 5.4 Prismas de mampostería

En el siguiente apartado se resumen los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión ( $f'_m$ ), modos de falla, curvas de esfuerzo en función de la deformación, módulo de elasticidad ( $E_m$ ) y deformación unitaria ( $e_{mu}$ ) para los especímenes de ensayo.

Para la depuración de los resultados de resistencia a la compresión ( $f'_m$ ), módulo de elasticidad ( $E_m$ ) y deformación unitaria ( $e_{mu}$ ) se empleó el método estadístico de cajas y bigotes. Este método resulta especialmente útil para identificar de forma gráfica valores atípicos (comúnmente denominados outliers) en los datos.

### 5.4.1 Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo

Como se citó anteriormente, el primer análisis realizado a los resultados fue el método estadístico de cajas y bigotes, de esta manera, al observar la **Figura 5-2** se muestra dicha representación, en la cual se observa un valor atípico en los resultados de resistencia ( $f'_m$ ), específicamente para los especímenes de ensayo sin relleno de concreto, por lo tanto, se procedió a extraer dicho valor de los resultados. De esta forma, en la **Tabla 5-9** y en la **Tabla 5-10** se resumen los resultados de resistencia obtenidos al someter los prismas de mampostería a ensayos de compresión, excluyendo los valores atípicos.



**Figura 5-2.** Representación de cajas y bigotes para la resistencia a compresión ( $f'_m$ ).

En la **Sección 9.3.2** de la presente investigación se adjuntan los resultados correspondientes para cada uno de los prismas de mampostería. De esta forma, al observar la **Tabla 9-9**, **Tabla 9-10**, **Tabla 9-11**, **Tabla 9-12**, **Tabla 9-13** y **Tabla 9-14** se observa que los prismas construidos presentaron relaciones de  $h_p/t_p$  en el rango de 2,59 a 2,66, por lo tanto, se procedió a aplicar el factor de corrección de altura contra espesor definido en la norma INTE C55, el cual corresponde a 1,05. De esta manera, los resultados reportados en la **Tabla 5-9** y en la **Tabla 5-10** corresponden a los valores con la aplicación del factor de corrección.

En la **Tabla 5-9** se muestran los valores de resistencia a la compresión promedios obtenidos para los especímenes de ensayo rellenos. Para este caso se observa que se reportó un valor promedio de resistencia de 16,57 MPa (168,86 kg/cm<sup>2</sup>). En cuanto a la desviación estándar se registraron valores de 0,21 MPa (2,09 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que para el coeficiente de variación se obtuvo un valor de 1,24 %, lo cual demuestra la baja variabilidad entre las combinaciones de variables. Al calcular el error estándar para la resistencia ( $f'_m$ ) mediante la ecuación [2] se logró

determinar porcentajes inferiores al 2 % dentro del 95 % de confianza. De esta manera, estos errores señalan que el tamaño de la muestra seleccionada es estadísticamente aceptable, esto según lo expuesto en la **Sección 1.3.2** del presente estudio.

**Tabla 5-9.** Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo rellenos.

Especímen	Resistencia ( $f'_b$ )	Resistencia ( $f'_m$ )	Resistencia ( $f'_m$ )	$f'_m/f'_b$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PMR	18,3	16,50	168,15	0,90
PSR	18,3	16,80	171,22	0,92
PNR	18,3	16,40	167,21	0,90
<b>Promedio</b>		<b>16,57</b>	<b>168,86</b>	<b>0,91</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>		0,21	2,09	0,01
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>		1,24	1,24	1,24
<b>Error estándar (%)</b>		0,11	1,10	-

En la **Tabla 5-10** se muestran los valores de resistencia a la compresión promedios obtenidos para los especímenes de ensayo sin concreto de relleno. Para este caso se observa que se reportó un valor promedio de resistencia de 19,66 MPa (200,45 kg/cm<sup>2</sup>). En cuanto a la desviación estándar se registraron valores de 0,82 MPa (8,32 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que para el coeficiente de variación se obtuvo un valor de 4,15 %, lo cual demuestra la baja variabilidad entre las combinaciones de variables. Al calcular el error estándar para la resistencia ( $f'_m$ ) mediante la ecuación [2] se logró determinar porcentajes inferiores al 5 % dentro del 95 % de confianza. De esta manera, estos errores señalan que el tamaño de la muestra seleccionada es estadísticamente aceptable, esto según lo expuesto en la **Sección 1.3.2** del presente estudio.

**Tabla 5-10.** Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo sin relleno.

Especímen	Resistencia ( $f'_b$ )	Resistencia ( $f'_m$ )	Resistencia ( $f'_m$ )	$f'_m/f'_b$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PMS	18,3	19,97	203,59	1,09
PSS	18,3	20,28	206,75	1,11
PNS	18,3	18,74	191,02	1,02
<b>Promedio</b>		<b>19,66</b>	<b>200,45</b>	<b>1,07</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>		0,82	8,32	0,04
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>		4,15	4,15	4,15
<b>Error estándar (%)</b>		0,43	4,36	-

En términos generales, la resistencia promedio registrada para los prismas rellenos fue de 16,57 MPa (168,86 kg/cm<sup>2</sup>) y de 19,66 MPa (200,45 kg/cm<sup>2</sup>) para los prismas sin relleno, es decir, los

especímenes de ensayo sin relleno de concreto experimentaron un incremento en su resistencia del 19%.

#### **5.4.1.1 Influencia de la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería**

Sarhat & Sherwood (2018) basados en varios investigadores mencionan que la resistencia a la compresión de la unidad de mampostería influye significativamente en la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f'_m$ ), es decir, a medida que se incrementa la resistencia de la unidad, se incrementa la resistencia  $f'_m$  de la mampostería. Este comportamiento se presenta puesto que la unidad de mampostería es el componente encargado de contener el mortero y el concreto de relleno, por ende, su resistencia al someter los especímenes a ensayos de compresión es concluyente para la resistencia de la mampostería (Navas, 2007).

En la **Tabla 5-9** y en la **Tabla 5-10** se muestra la relación entre la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f'_m$ ) y la resistencia de las unidades, comúnmente denominado factor de eficiencia. Se observa que para los especímenes de ensayo rellenos se obtuvo un factor de eficiencia promedio de 0,91 (ver **Tabla 5-9**), mientras que para el caso de los prismas vacíos se reportó un factor de 1,07 (ver **Tabla 5-10**). Estos resultados son consistentes, puesto que los prismas vacíos son más resistentes sobre su área neta, y al ser la unidad de mampostería el elemento que confina, la resistencia de la mampostería se encuentra delimitada por la capacidad del bloque para soportar los esfuerzos (Navas, 2007).

#### **5.4.1.2 Influencia del tipo de mortero**

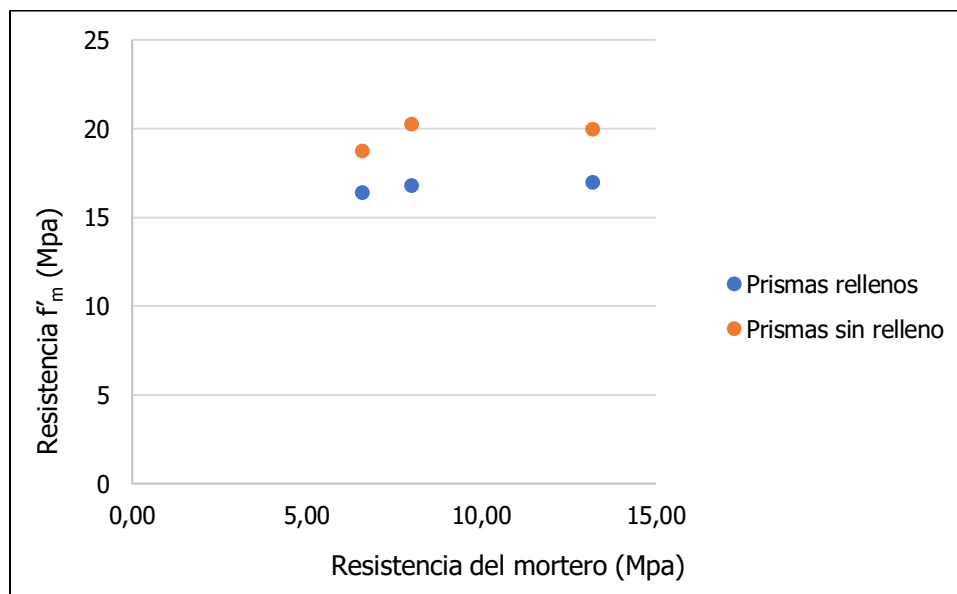
Khalaf (1996) determinó que, al incrementar la resistencia del mortero en los prismas rellenos, esto no implicaría en un aumento considerable de la resistencia del prisma ( $f'_m$ ). Esto se presenta debido a la influencia de los esfuerzos ejercidos por el confinamiento horizontal sobre la junta del mortero de pega por las columnas del concreto de relleno, lo cual a su vez ocasiona un incremento aparente de la resistencia del mortero.

De esta manera, al observar los resultados reportados en la **Tabla 5-9** se puede apreciar el comportamiento descrito por Khalaf, donde los valores muestran una variación muy conservadora y, además, no es posible establecer una relación directa entre la resistencia del prisma ( $f'_m$ ) y la resistencia del mortero para la muestra analizada en esta investigación.

Por otra parte, Navas (2007) menciona que existe una relación directa entre la resistencia de los prismas ( $f'_m$ ) y la resistencia del mortero, lo cual se experimenta porque los morteros de baja

resistencia soportan una deformación transversal superior, asociado a un menor módulo de elasticidad en comparación con los bloques, favoreciendo mayores esfuerzos de tracción en la zona de contacto de los materiales. Al analizar los resultados reportados para la resistencia de los prismas ( $f_m$ ) en la **Tabla 5-10** se aprecia que la relación indicada por Navas (2007) se logró constatar en la presente investigación, a excepción de los resultados asociados al mortero tipo S. En este caso en concreto, se muestra que la resistencia de los prismas con mortero tipo M son 7% superior a la resistencia de los prismas con mortero tipo N y 2% inferior a la resistencia de los prismas con mortero tipo S.

En la **Figura 5-3** se muestra el efecto de la resistencia del mortero en la resistencia de los prismas de mampostería. En esta figura se observa que al aumentar la resistencia del mortero en los prismas rellenos no se presentó un incremento considerable en la resistencia del prisma, lo cual concuerda con lo observado por el autor Khalaf (1996). Por su parte, la tendencia observada en los prismas rellenos, específicamente en los prismas PNS y PSS, demuestra una relación directa entre la resistencia del mortero y la resistencia a compresión de la mampostería ( $f_m$ ). Este comportamiento no se observó con el mortero tipo M, lo cual se puede encontrar asociado al incumplimiento de la resistencia mínima indicada en el CSCR 2010-14 y en la norma ASTM C270 (ver **Tabla 5-4**)



**Figura 5-3.** Efecto de la resistencia del mortero en la resistencia de los prismas de mampostería.



### 5.4.1.3 Influencia del concreto de relleno

En numerosas investigaciones, tales como Hamid (1978), Drysdale & Hamid (1979), Khalaf et al. (1992), Fortes et al. (2014) se ha llegado a la conclusión de que los prismas de mampostería sin concreto de relleno alcanzan resistencias superiores a compresión en comparación a los prismas rellenos. Este comportamiento se logró corroborar en el presente estudio, puesto que la presencia de concreto de relleno en el prisma de mampostería implicó una disminución promedio de un 19% de la resistencia a compresión de los prismas. Este comportamiento ha sido estudiado por autores como Hamid y Drysdale, los cuales mencionan que se pueden obtener reducciones de hasta un 30 % en los prismas con concreto de relleno.

De esta manera autores como Drysdale & Hamid (1979) mencionan que la mampostería con concreto de relleno alcanza cargas inferiores de falla, donde se ha determinado que los prismas sin concreto de relleno presentan resistencias superiores en comparación a los prismas con concreto de relleno. Esto se origina debido a que en los prismas rellenos el ensamblaje no sólo debe confinar el mortero, sino también el concreto de relleno, de esta manera, ante la aplicación de una misma carga, el prisma debe resistir un esfuerzo mayor, lo cual se materializa en un ( $f'_m$ ) inferior.

Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan totalmente con las acotaciones de Hamid (1978), Drysdale & Hamid (1979), Khalaf et al. (1992), Fortes et al. (2014), puesto que se obtuvo una resistencia ( $f'_m$ ) para los prismas sin relleno de 19,66 MPa (200,45 kg/cm<sup>2</sup>) y 16,57 MPa (168,86 kg/cm<sup>2</sup>). En términos globales, la resistencia ( $f'_m$ ) alcanzada en el presente estudio corresponde a 18,12 MPa (184,77 kg/cm<sup>2</sup>). Por su parte, el CSCR 2010-14 en su **Sección A.2** define valores mínimos de  $f'_m$  para las distintas clases de mampostería, donde se tiene un valor 100 kg/cm<sup>2</sup> para mampostería clase A, por lo tanto, al comparar con el valor obtenido se concluye que el valor es 84,77% superior al establecido en el CSCR 2010-14.

Este comportamiento concuerda con lo observado por investigadores como Núñez (2019), Vaca (2019), Cascante (2001), Carvajal (2000), Navas (1999) y Rodríguez (1999), los cuales determinaron valores de  $f'_m$  superiores a los 100 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual evidencia que el valor propuesto por el CSCR 2010-14 es conservador.

En el presente estudio se alcanzó una resistencia a la compresión promedio de 184,77 kg/cm<sup>2</sup> (ver **Tabla 5-11**), es decir, se sobrepasó en un 85 % el valor indicado en el CSCR 2010-14, puesto que esta normativa menciona que en los casos que no se cuenten con pruebas de prismas

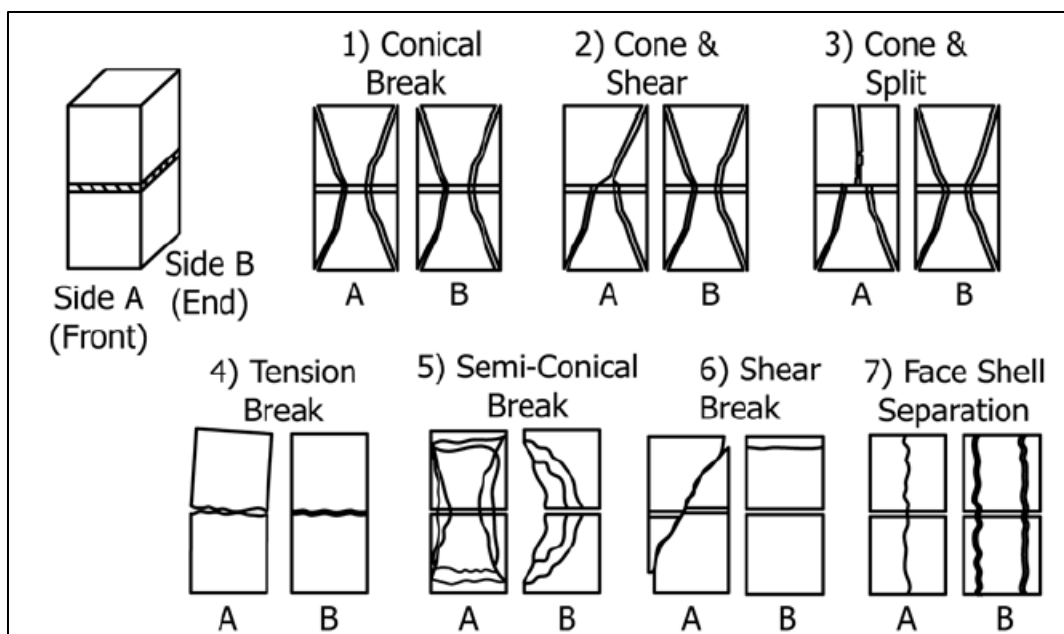
para determinar el  $f'_m$ , se puede emplear un  $f'_m = 100 \text{ kg/cm}^2$ . Este comportamiento también fue observado por los investigadores Navas (1999), Cascante (2001), Vaca (2019) y Núñez (2019) los cuales reportaron valores de 122, 164, 146 y 153  $\text{kg/cm}^2$ , es decir, 22%, 64%, 46% y 53% superiores al valor establecido en el CSCR 2010-14. Estos resultados se muestran en la **Tabla 5-11**.

**Tabla 5-11.** Valores de resistencia promedio obtenidos en investigaciones locales.

Investigación	Variables estudiadas			
	Espesor de mampostería (cm)	Resistencia a la compresión promedio $f'_m$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Módulo de elasticidad promedio $E_m$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Deformación unitaria promedio $e_{mu}$
Navas (1999)	12	122	114544	-
Rodríguez (1999)	15	98	85641	-
Cascante (2001)	20	164	170978	-
Vaca (2019)	13,6	140	93202	0,0034
	20	153	94079	
Núñez (2019)	12	150	134007	0,0038
	15	156	129040	
Sibaja (2023)	15	185	147641	0,0034

#### 5.4.2 Modos de falla

La Norma INTE C55 y la Norma ASTM C1314 definen un esquema de fallas que pueden presentar los prismas de mampostería al ser sometidos a ensayos de compresión. De esta forma, en la **Figura 5-4** se observan los 7 tipos de falla que definen las normativas mencionadas. En la **Figura 5-5** se muestran las fallas más predominantes obtenidas en el presente estudio, sin embargo, en la **Sección 9.3.4** se adjuntan las fotografías correspondientes a los modos de falla de todos los especímenes ensayados en la investigación.



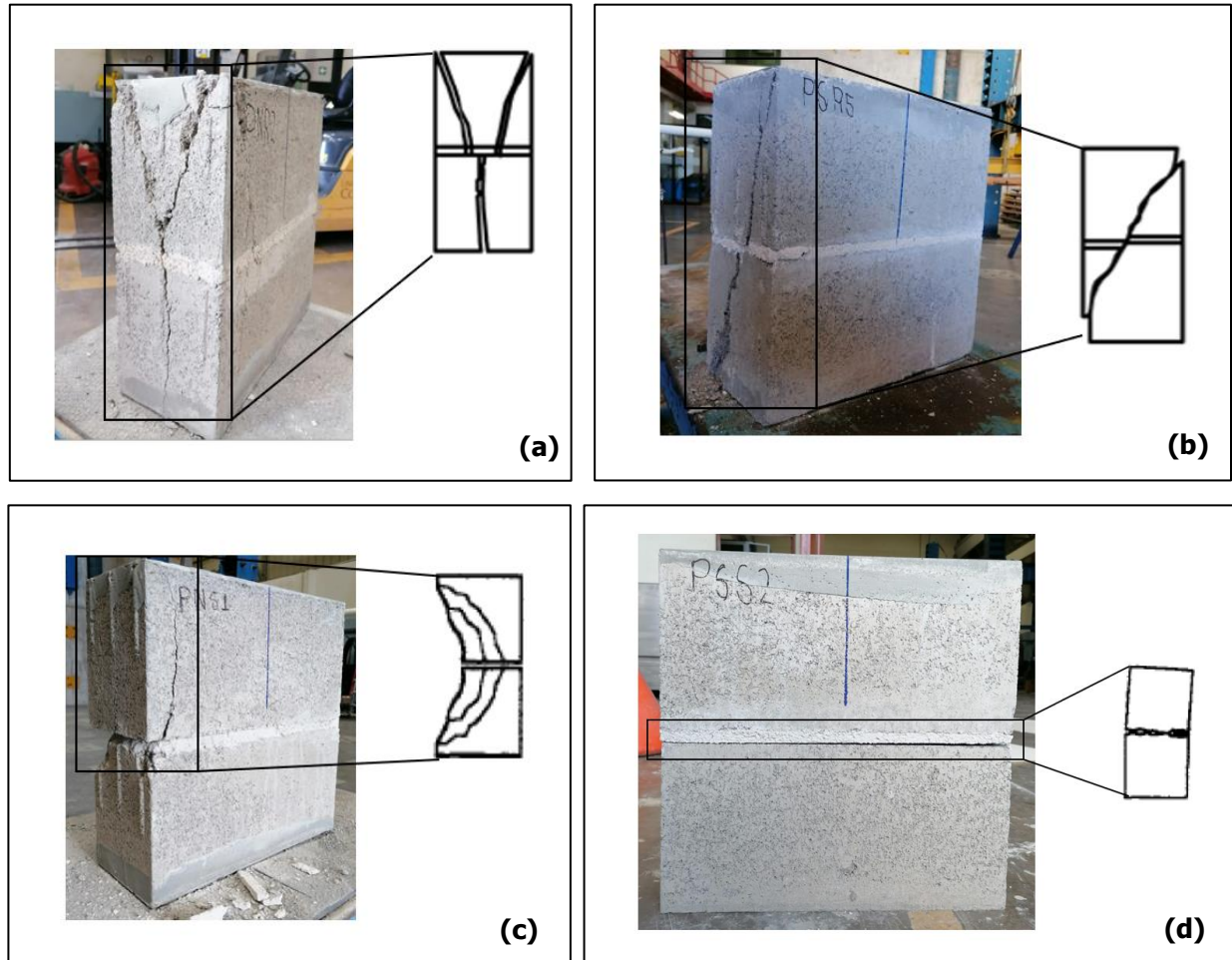
**Figura 5-4.** Modos de falla en prismas de mampostería.  
Fuente: (ASTM C1314, Año)

En la **Figura 5-5** se muestran los modos de falla obtenidos al someter los prismas de mampostería a ensayos de compresión. En términos generales las fallas se asociaron a cuatro de los tipos definidos por la Norma INTE C55 y la Norma ASTM C1314. Para el caso de los prismas rellenos se obtuvieron fallas del tipo cono y grieta vertical y falla por cortante, tal y como se observa en la **Figura 5-5 a** y en la **Figura 5-5 b**. Estos resultados concuerdan con lo observado por autores como Assis & Hamid (1989) y Núñez (2019), los cuales observaron modos de falla de la forma cónica. Es importante destacar que en la mayoría de los especímenes no se presentó el desprendimiento completo de las paredes del bloque, tal y como se aprecia en la **Figura 5-5** y en la **Sección 9.3.4**. Este comportamiento demuestra la adecuada adherencia entre el concreto de relleno y la unidad de mampostería.

En la **Figura 5-4 c** y en la **Figura 5-5 d** se muestran los modos de falla registrados para los prismas de mampostería sin concreto de relleno. Se observa que se obtuvieron fallas del tipo semicónica y por tensión.

Es importante destacar que autores como Drysdale & Hamid (1979), Khalaf (1996) y Drysdale et al (2008) recomiendan fabricar prismas de mampostería que contemplen al menos tres bloques de altura, puesto que ellos arrojarían modos de falla más representativos a la escala real, sin embargo, para términos prácticos, este aumento en la altura de los prismas implica mayores

dificultades durante los ensayos de compresión, además, se requerirían equipos con mayor capacidad para someter los especímenes a la falla. Por estas razones, el presente estudio contempla prismas con dos bloques de altura.



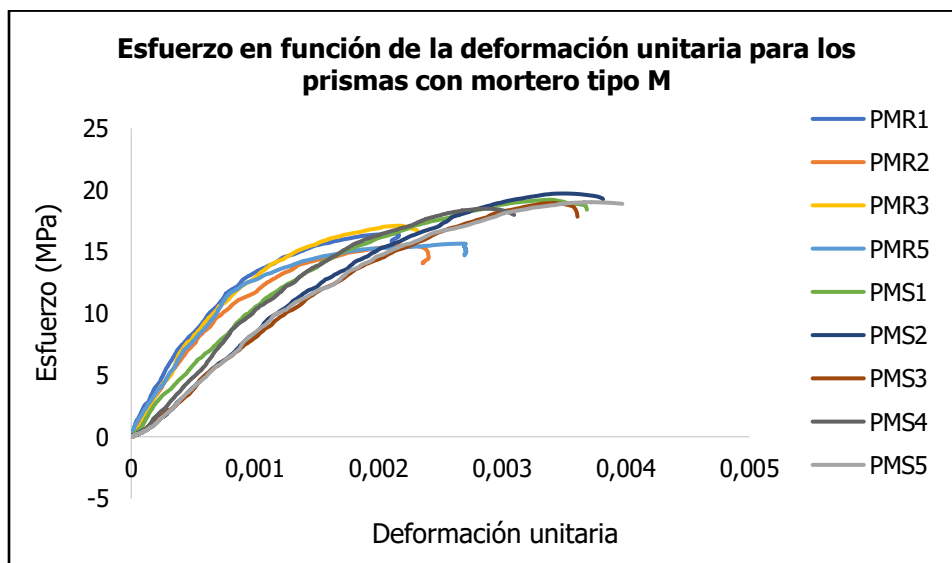
**Figura 5-5.** Modos de falla predominantes del estudio: (a) Cono y grieta vertical, (b) Falla por cortante, (c) Falla semicónica y (d) Falla de tensión.

#### 5.4.3 Curvas de esfuerzo en función de la deformación

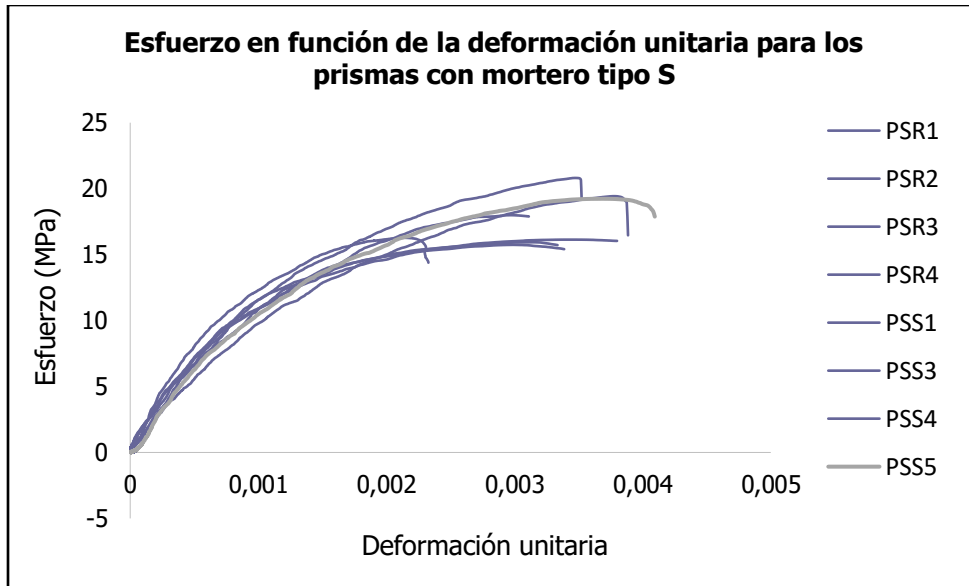
En el siguiente apartado se muestra de forma gráfica las curvas resultantes de esfuerzo en función de la deformación unitaria para los prismas de mampostería. Estas curvas se generaron a partir de los valores de carga reportados por la Máquina TMS-64 y las deformaciones registradas por los LVDT's. Cabe mencionar que las curvas reportadas corresponden a un total de 24 especímenes. Para los especímenes restantes (6 prismas de mampostería) no fue posible elaborar las curvas de esfuerzo en función de la deformación, debido a dos razones a saber: en primera instancia, se presentaron problemas asociados a lecturas incorrectas del montaje experimental,

lo cual ocasiono curvas con un comportamiento atípico al esperado, y, por otra parte, durante el proceso de preparación de los prismas, específicamente en la etapa del coronamiento, se presentó la falla de 3 especímenes (PNS3, PNS4 y PNS5), por lo tanto, no se pudieron someter a ensayos de compresión.

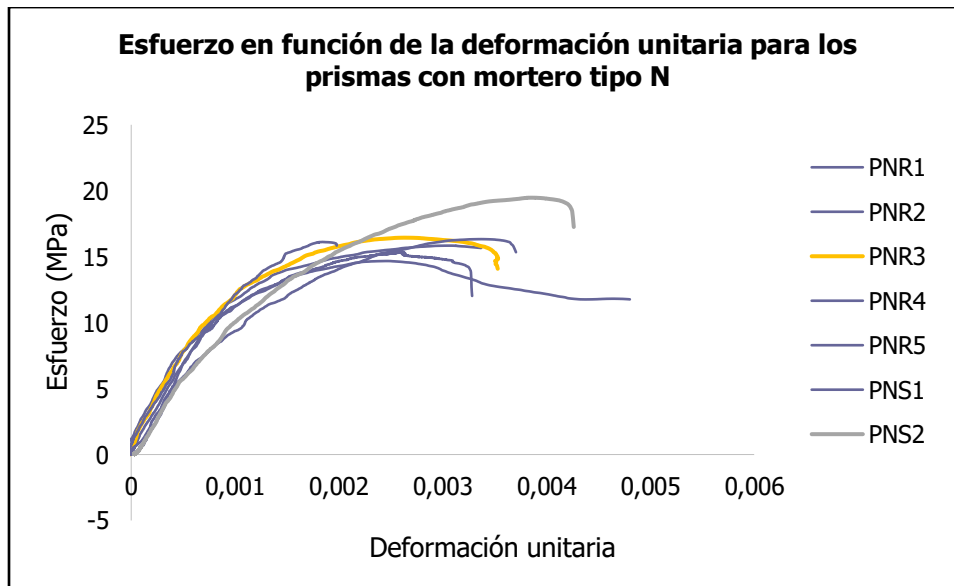
En la **Sección 9.4.3** de la presente investigación se muestran las curvas de esfuerzo en función de la deformación para cada uno de los especímenes ensayados. En la **Figura 5-6**, **Figura 5-7** y **Figura 5-8** se observa el conjunto de curvas para los prismas rellenos y sin relleno, separados por cada tipo de mortero.



**Figura 5-6.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prismas de mampostería con mortero tipo M.



**Figura 5-7.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prisms de mampostería con mortero tipo S.



**Figura 5-8.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el lote de prisms de mampostería con mortero tipo N.

La **Figura 5-6**, **Figura 5-7** y la **Figura 5-8** muestran como las curvas del esfuerzo en función de la deformación presentaron un comportamiento similar entre sí, el cual concuerda con la literatura (ver **Sección 2.3**). Se observa que todas las curvas presentan una zona ascendente con cierta linealidad, comportamiento que va cambiando conforme se aproxima al esfuerzo

máximo, formándose una especie de parábola hasta que se alcanza la descarga del 93% de la resistencia máxima, esto para términos del presente estudio.

#### 5.4.4 Módulo de elasticidad

En el presente apartado se muestran los resultados asociados al módulo de elasticidad. Para la obtención de este parámetro se empleó el método de la secante, en el cual se obtiene la pendiente de una recta definida por los puntos correspondientes a  $0,05 f'_m$  y a  $0,33 f'_m$ , tal y como se definió en la **Sección 2.3**. De esta forma, en la **Tabla 5-12** se resumen los valores obtenidos para los prismas rellenos, mientras que en la **Tabla 5-13** se observan los valores reportados para los prismas sin concreto de relleno.

En la **Tabla 5-12** se observa que los prismas de mampostería con concreto de relleno alcanzaron un módulo de elasticidad promedio de 15906,75 MPa ( $162203,67 \text{ kg/cm}^2$ ), además se obtuvo un coeficiente de variación de 7,59 %, lo cual demuestra la baja variabilidad entre las combinaciones de variables. En cuanto a la razón del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión ( $f'_m$ ) se logra observar que se obtuvo un valor promedio de 950,27. Este valor es importante puesto que es la forma habitual en que las normativas exponen las expresiones para la estimación del módulo de elasticidad de la mampostería (Navas, 1999), tal es el caso del CSCR 2010-14, el cual define una relación  $E_m/ f'_m$  igual a 750, mientras que el TMS 402-16 establece una relación  $E_m/ f'_m$  igual a 900. De esta manera, se muestra que los prismas de mampostería con concreto de relleno cumplen con la rigidez global definida en el CSCR 2010-14 y el TMS 402-16.

**Tabla 5-12.** Módulos de elasticidad obtenidos para los prismas con concreto de relleno.

Espécimen	Resistencia $f'_m$	Módulo de elasticidad $E_m$	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m/ f'_m$
	(MPa)	(MPa)	( $\text{kg/cm}^2$ )	
PMR	16,98	16831,28	171631,29	991,09
PSR	16,80	16347,55	166698,59	973,26
PNR	16,40	14541,41	148281,14	886,47
<b>Promedio</b>	<b>16,73</b>	<b>15906,75</b>	<b>162203,67</b>	<b>950,27</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,30	1206,90	12306,93	55,97
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	1,77	7,59	7,59	5,89

En la **Tabla 5-13** se muestra que los prismas de mampostería sin concreto de relleno alcanzaron un módulo de elasticidad promedio de 13050,53 MPa ( $133078,38 \text{ kg/cm}^2$ ), además se obtuvo un coeficiente de variación de 17,47 %, lo cual demuestra la baja variabilidad entre las combinaciones de variables. Por otra parte, para el caso de los prismas vacíos se logró alcanzar

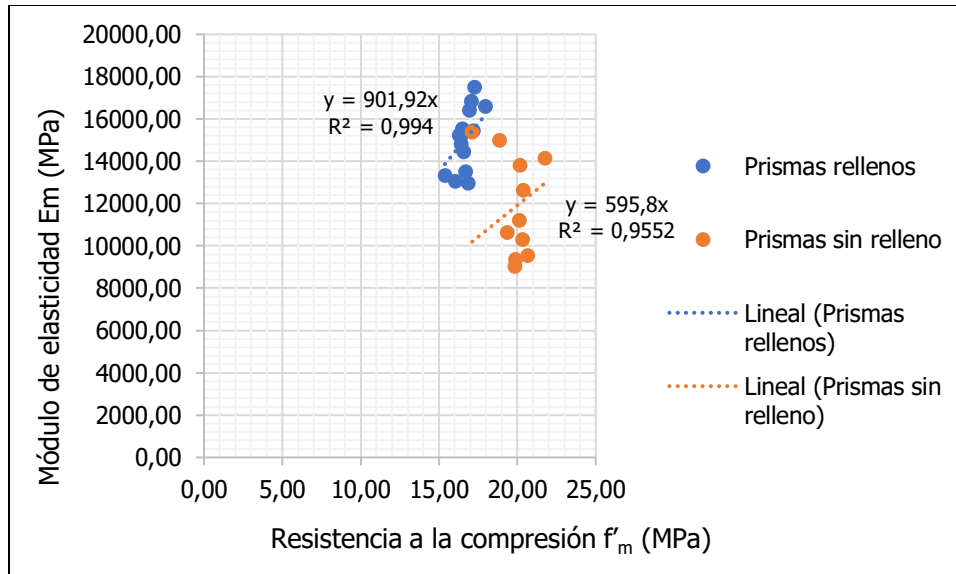
una razón de  $E_m/ f'_m$  promedio de 666,04. Este valor indica que los especímenes de ensayo sin concreto de relleno no cumplen con la rigidez esperada según el CSCR 2010-14 y el TMS 402-16, puesto que se encuentra por debajo de los valores definidos en estas normativas. En términos globales, el módulo de elasticidad alcanzado en el presente estudio corresponde a 14478,64 MPa (147641,03 kg/cm<sup>2</sup>), con una razón  $E_m/ f'_m$  promedio de 808,15.

**Tabla 5-13.** Módulos de elasticidad obtenidos para los prismas sin concreto de relleno.

Especímen	Resistencia $f'_m$	Módulo de elasticidad $E_m$	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m/ f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PMS	19,97	10453,13	106592,28	523,37
PSS	20,28	13979,66	142552,87	689,26
PNS	18,74	14718,80	150089,99	785,48
<b>Promedio</b>	<b>19,66</b>	<b>13050,53</b>	<b>133078,38</b>	<b>666,04</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,82	2279,57	23245,15	132,58
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	4,15	17,47	17,47	19,91

En la **Figura 5-9** se muestra de forma gráfica el conjunto total de los datos con la línea de mejor ajuste para los prismas rellenos y sin relleno, además se indica la ecuación de regresión lineal obtenida y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) alcanzado. De esta figura, se logra observar que la ecuación que describe el módulo de elasticidad para los prismas rellenos corresponde a  $E_m= 901,92f'_m$  con un coeficiente de determinación de  $R^2= 0,994$ , mientras que, para el caso de los prismas de relleno, corresponde a  $E_m= 595,8f'_m$  con un coeficiente de  $R^2= 0,955$ . Al analizar las expresiones anteriores, específicamente los valores de los coeficientes de determinación, se percibe que el 99,4 % de la variación total de los valores del módulo de elasticidad son explicados por la relación lineal obtenida, esto para el caso de los prismas rellenos, mientras que para los prismas vacíos se tiene un valor de 95,5 %.

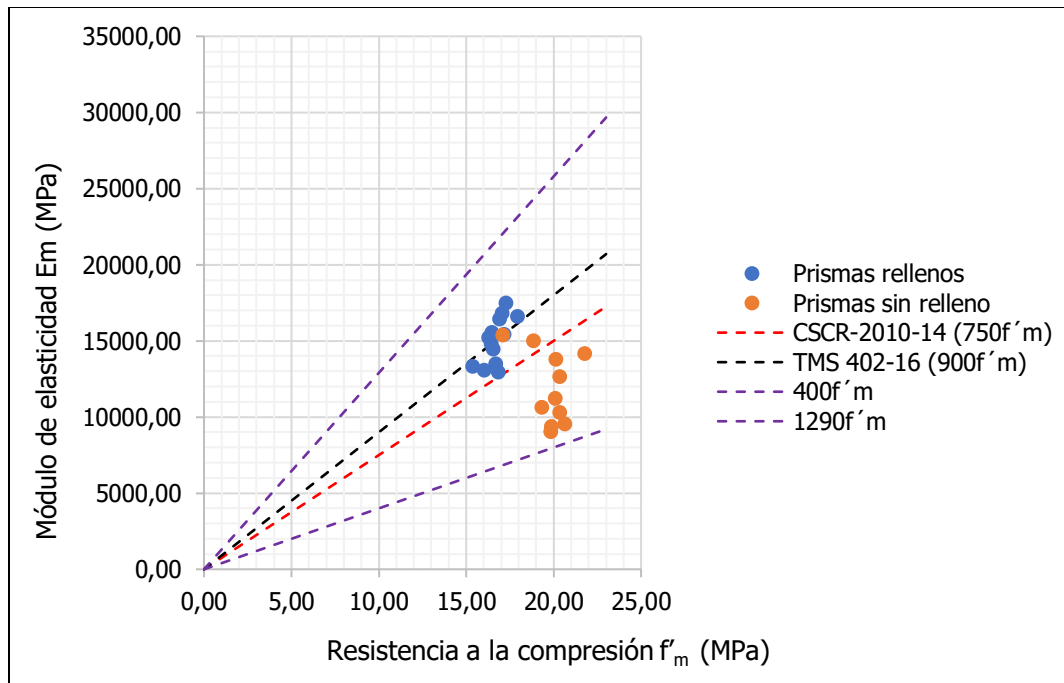




**Figura 5-9.** Módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión de los prismas rellenos y sin relleno.

Por otra parte, Navas (2007) logró determinar la expresión  $E_m=932f'_m$  con un coeficiente de determinación de  $R^2= 0,49$ , es decir, obtuvo una correlación más baja debido a que integro dentro de su estudio, los resultados obtenidos en las investigaciones de Navas (1999), Rodríguez (1999), Carvajal (2000) y Cascante (2001) con diferentes variables. Por otro lado, Vaca (2019) obtuvo la expresión  $E_m=719f'_m$  con un coeficiente de determinación de  $R^2= 0,064$ , el cual implica que sólo un 6,4% de las variaciones son explicadas por la expresión obtenida. De forma adicional, Núñez (2019) llegó a la expresión de  $E_m=811f'_m$ , es decir, la relación promedio de  $E_m/ f'_m$  del presente estudio es 13% inferior, 11% superior y 0,4% inferior con respecto a los resultados reportados por Navas (2007), Vaca (2019) y Núñez (2019), respectivamente.

En la **Figura 5-10** se muestra la relación entre el módulo de la elasticidad y la resistencia a la compresión ( $f'_m$ ) para la totalidad de los datos. En dicha figura, la envolvente que delimita los valores ( $400 f'_m$  y  $1290 f'_m$ ) corresponden al rango de variabilidad esperado, esto con base a los autores Drysdale & Hamid (2008). A nivel local, el CSCR 2010-14 en su **Sección 9.3.4** define la expresión  $E_m= 750 f'_m$  para la estimación del módulo de elasticidad para unidades de concreto, mientras que, a nivel internacional el TMS 402-16 define la expresión  $E_m= 900 f'_m$ . Estas relaciones nacen debido al comportamiento lineal que experimentan las curvas de esfuerzo en función de la deformación durante el proceso de carga en los ensayos a compresión. Estas relaciones se muestran en la **Figura 5-10**.



**Figura 5-10.** Módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión de los prismas de mampostería.

Como se observa en la **Figura 5-10**, la totalidad de los prismas de mampostería se encuentran dentro del rango de variabilidad esperado, según los autores Drysdale & Hamid (2008). Se puede apreciar que 15 especímenes de ensayo arrojaron valores superiores al recomendado por el CSCR 2010-14 (13 prismas rellenos y 2 prismas sin relleno), representando un 62,50 % de la muestra total. Vaca (2019) menciona que la obtención de valores bajos para la relación  $E_m / f'_m$  se encuentra asociado a una deformación más ligera de los prismas de mampostería al someterse a ensayos de compresión, esto en comparación con lo esperado para la mampostería a nivel nacional.

En los últimos años diferentes investigadores han venido estudiando el módulo de elasticidad de la mampostería, tal es el caso de Navas (1999), el cual reportó módulos de elasticidad para los especímenes con mortero tipo M, S y N de 130 566 kg/cm<sup>2</sup>, 118814 kg/cm<sup>2</sup> y 94252 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. De esta forma, al realizar la correlación con los resultados de la presente investigación se logra observar que Navas (1999) obtuvo un módulo de elasticidad superior para los prismas con mortero tipo M (18 %), mientras que para los prismas con mortero tipo S y N, se registraron valores inferiores a los de este estudio, específicamente 20 % y 59 %, respectivamente.

Por otra parte, se logró determinar que los resultados experimentales del presente estudio son 35 % y 43 % superiores, esto para los prismas con concreto de relleno tipo S y N, respectivamente, puesto que Vaca (2019) reporto valores de 12088 MPa para los prismas rellenos con mortero tipo S y 10182 MPa para los especímenes rellenos con mortero tipo N. Este comportamiento también se presentó en los prismas de mampostería sin relleno, donde se obtuvo un valor de  $E_m$  67 % superior al reportado por Vaca (2019), esto específicamente para los especímenes sin relleno con mortero tipo N, sin embargo, para los prismas con mortero tipo S, el presente estudio reporto un valor inferior (específicamente un 6 %).

Por su parte Núñez (2019) reporto valores para el módulo de elasticidad de 12898 MPa para los prismas rellenos y 10410 MPa para los especímenes sin relleno, es decir, en el presente estudio se alcanzaron valores superiores, específicamente un 23 % para los prismas rellenos y un 25 % para los prismas vacíos (ver **Tabla 5-12** y **Tabla 5-13**).

Es importante mencionar que en las investigaciones de Vaca (2019) y Núñez (2019) se emplearon prismas de mampostería fabricados con mitades de bloques, además utilizaron bloques con distintos espesores a los de la presente investigación. Asimismo, fue necesario realizar correcciones en las curvas de esfuerzo en función de la deformación para poder obtener el módulo de elasticidad, puesto que al inicio de estas curvas se registraron valores atípicos en las deformaciones.

#### 5.4.5 Deformación unitaria

En la **Tabla 5-14** y **Tabla 5-15** se resumen los valores de deformación unitaria obtenidos para los especímenes ensayados. Se observa que los prismas rellenos alcanzaron una deformación promedio de 0,0030 y los prismas sin relleno de 0,0038, es decir, los especímenes de ensayo sin relleno experimentaron un incremento de 26% en la deformación.

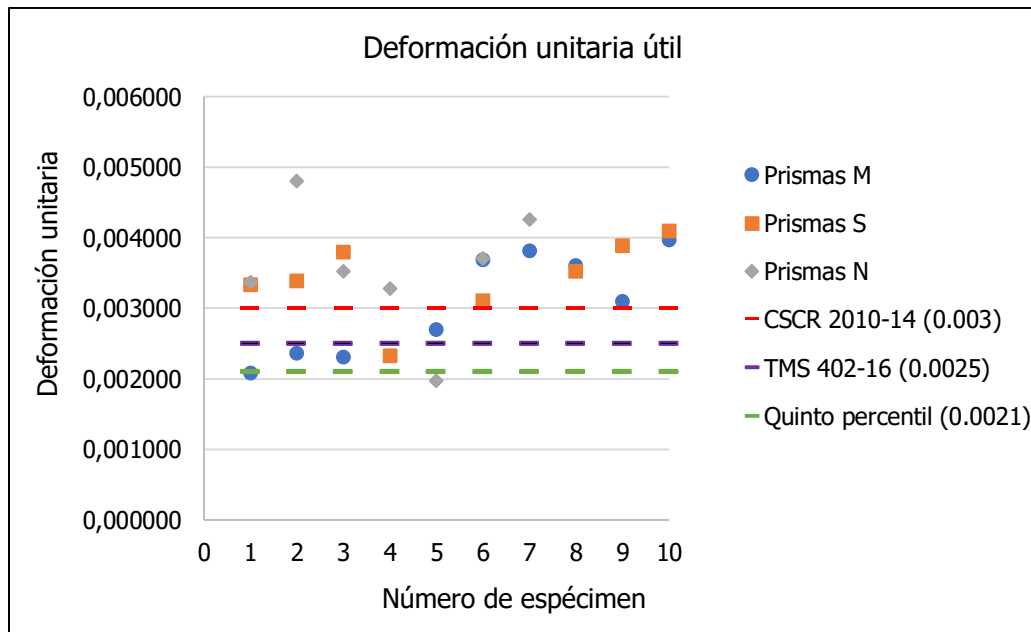
**Tabla 5-14.** Valores obtenidos para la deformación unitaria de los prismas rellenos.

<b>Espécimen</b>	<b>Deformación unitaria (<math>\epsilon_{mu}</math>)</b>	<b>%* <math>f'_m</math></b>
PMR	0,002365	93,95
PSR	0,003213	96,09
PNR	0,003393	88,31
<b>Promedio</b>	<b>0,002990</b>	<b>92,78</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000549	4,02
<b>Coficiente de variación (CV)</b>	18,36	4,34

**Tabla 5-15.** Valores obtenidos para la deformación unitaria de los prismas sin relleno.

Espécimen	Deformación unitaria ( $\epsilon_{mu}$ )	%* $f'_m$
PMS	0,003638	96,83
PSS	0,003654	92,38
PNS	0,003984	91,27
<b>Promedio</b>	<b>0,003759</b>	<b>93,49</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000196	2,94
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	5,20	3,15

En la **Figura 5-11** se muestra de forma gráfica los valores de deformación obtenidos en la investigación para cada uno de los especímenes de ensayo. En esta figura, la línea discontinua color rojo representa el valor definido en el CSCR 2010-14 para diseño y la línea discontinua color morado representa el valor recomendado por el TMS 402-16 para diseño. Como se puede observar, de los 24 prismas, 18 especímenes arrojaron valores de deformación superiores a los recomendados por el CSCR 2010-14, representando un 75% de la muestra total, mientras que 19 especímenes se encontraron por encima del valor recomendado por el TMS 402-16, representando un 79% de la muestra total. Además, al observar la Figura 5-11, se evidencia que, de la totalidad de la muestra, 5 especímenes no alcanzaron los valores de deformación definidos en el CSCR 2010-14 y el TMS 402-16, representando este valor un 20% de la muestra



**Figura 5-11.** Deformaciones unitarias obtenidas para cada uno de los especímenes de ensayo.

En términos generales, se obtuvo un valor promedio de deformación unitaria de 0,0034, el cual fue medido a un 93% de la resistencia ( $f'_m$ ). Por lo tanto, el valor promedio reportado de

deformación unitaria infiere que la deformación última se localiza en un valor superior a este dato, por ende, sobrepasa los valores de diseño definidos en el CSCR 2010-14 (0,003) y el TMS 402-16 (0,0025), lo cual tiene sentido, puesto que a los valores definidos en las normativas de diseño se les aplica factores de seguridad.

Para términos de la deformación unitaria, cabe mencionar que solamente tres autores han estudiado esta variable a nivel nacional (incluyendo la presente investigación). Además, es importante destacar que Vaca (2019) y Núñez (2019) no lograron determinar en todas las curvas el comportamiento post pico esperado, puesto que después de alcanzar la resistencia máxima experimentaron caídas abruptas en las curvas, lo cual dificultó la obtención de la deformación última ( $e_{mu}$ ), como respuesta a ello, procedieron a reportar el valor de la deformación correspondiente a la resistencia máxima, variable que definieron como deformación unitaria útil. Un comportamiento similar se experimentó en la presente investigación, donde el valor reportado de deformación corresponde al 93% de la resistencia máxima (ver detalle en la **Sección 5.4.5**).

En primera instancia, Vaca (2019) reportó un valor de deformación unitaria de 0,0034. En este estudio solamente el 38 % de los prismas ensayados sobrepasaron el valor definido en el CSCR 2010-14 (0,0030), mientras que el 75 % de los especímenes alcanzaron deformaciones superiores al valor establecido en el TMS 402-16 (0,0025). Por otra parte, haciendo referencia a los resultados obtenidos por Núñez (2019), se muestra que este autor alcanzó una deformación unitaria de 0,0038; es decir, registro un incremento en la deformación de un 12 %, esto en comparación con los valores obtenidos por Vaca (2019) y el presente estudio.

Núñez (2019) mencionó que el 80 % de los prismas ensayados sobrepasaron el valor establecido en el CSCR 2010-14, mientras que el 95 % de los especímenes alcanzaron valores superiores al definido en el TMS 402-16. Este comportamiento observado por Vaca (2019) y Núñez (2019) también se presentó en el presente estudio, tal y como se analizó en la **Sección 5.4.5**. Por lo tanto, partiendo de estos resultados experimentales es más adecuado utilizar el valor establecido en el TMS 402-16, puesto que engloba una mayor cantidad de valores experimentales. Además, como menciona Vaca (2019), los valores establecidos en los códigos no tienen como finalidad la estimación real de la deformación última, más bien busca definir un valor inferior que asegure que la deformación última real se encuentre por encima de dicho valor.

## Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

#### 6.1.1 Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo

La resistencia promedio registrada para los prismas rellenos fue de 16,57 MPa (168,86 kg/cm<sup>2</sup>) y de 19,66 MPa (200,45 kg/cm<sup>2</sup>) para los prismas sin relleno; es decir, en términos generales se reportó un valor de  $f'_m$  de 184,77 kg/cm<sup>2</sup>. De esta forma, este valor sobrepasa en un 85% el valor indicado por el CSCR 2010-14, resultado que se encuentra estrictamente ligado con la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería ( $f'_b$ ), dado que se determinó que el parámetro más influyente sobre la resistencia a compresión de la mampostería  $f'_m$  corresponde a la resistencia del bloque.

Este comportamiento también fue observado por Navas (1999), Vaca (2019) y Núñez (2019) los cuales registraron valores de  $f'_m$  en el rango del 22% hasta un 53% superior al establecido en el CSCR 2010-14. De esta manera se observa, que el valor indicado en esta normativa expone un valor de resistencia a la compresión  $f'_m$  conservador, puesto que no sobrepasa los resultados obtenidos en las investigaciones mencionadas a nivel nacional para la mampostería clase A.

Al obedecer la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  directamente a la resistencia a la compresión del bloque  $f'_b$ , es evidente que la propuesta del CSCR 2010-14 es conservadora al recomendar valores de  $f'_m$  (mampostería clase A 100 kg/cm<sup>2</sup>, clase B 70 kg/cm<sup>2</sup> y clase C 60 kg/cm<sup>2</sup>) y al solicitar requisitos para las unidades de mampostería (mampostería clase A  $f'_b \geq 133$  kg/cm<sup>2</sup>, clase B  $f'_b \geq 90$  kg/cm<sup>2</sup> y clase C  $f'_b \geq 75$  kg/cm<sup>2</sup>).

Con base en los resultados obtenidos en torno a la resistencia a la compresión del concreto de relleno  $f'_g$  se logró determinar que ninguno de los valores reportados alcanza la resistencia mínima para mampostería clase A, inclusive no se alcanzó la resistencia mínima que se define en la Norma INTE C88 de 14 MPa (143 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días. Para términos del presente estudio, donde se reportó un valor de la resistencia del bloque promedio  $f'_b$  de 186,40 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia promedio a la compresión del concreto de relleno  $f'_g$  de 137,78 kg/cm<sup>2</sup>, la presencia del concreto de relleno en el prisma de mampostería no implicó un aumento significativo de la resistencia de la mampostería  $f'_m$ .

Este comportamiento es descrito en la investigación de Khalaf (1996), donde menciona que la resistencia a compresión de la mampostería experimenta un aumento significativo cuando las

características de deformación entre el concreto de relleno y el bloque se asemejan, es decir, cuando se presenta la compatibilidad de deformaciones entre ambos elementos.

Los resultados de este estudio muestran que la resistencia del mortero tiene poca influencia en la resistencia de la mampostería, puesto que un aumento del 138% en la resistencia a compresión del mortero se materializa en un incremento del 2,5% y del 8%, para los especímenes rellenos y vacíos, respectivamente. Asimismo, se evidencia que, al reducir la resistencia del mortero, se afecta mayoritariamente la resistencia a la compresión  $f'_m$  de los prismas vacíos.

### **6.1.2 Modos de falla**

Para el caso de los prismas rellenos se obtuvieron fallas del tipo cono y grieta vertical y falla por cortante. Estos comportamientos se deben en gran medida debido a los esfuerzos de tensión a los que son sometidos los prismas de mampostería, ocasionando de esta manera la separación del bloque y el mortero.

Por su parte, los prismas de mampostería sin concreto de relleno evidenciaron fallas del tipo semicónica y por tensión. Estos resultados concuerdan con lo observado por otros investigadores que obtuvieron relaciones de  $h_p/t_p$  cercanos a 2. Por lo tanto, las fallas del tipo cónicas se deben en gran medida a los efectos de confinamiento de las placas de carga. Por su parte, las fallas del tipo cortante se presentan comúnmente cuando la rigidez del equipo de carga es inferior que el del prisma, lo cual propicia una falla súbita como respuesta a la liberación de energía acumulada en el equipo de carga.

Drysdale & Hamid (1979) mencionan que para obtener modos de falla más representativos a las paredes de mampostería es recomendable emplear prismas conformados por 3 o 4 unidades, debido que al someter a ensayos de compresión prismas de 3 bloques de altura, la unidad central se encuentra libre de esfuerzos, lo cual permite que se genere una distribución de esfuerzos, y, por ende, un modelo más aproximado a la realidad. A pesar de la recomendación de los autores, el presente estudio siguió los lineamientos definidos en la norma INTE C55, la cual permite someter a ensayos de compresión prismas conformados por dos bloques de altura, a los cuales se les aplica factores de corrección de altura contra espesor.

### **6.1.3 Curvas de esfuerzo en función de la deformación unitaria**

Se logró elaborar las curvas de esfuerzo en función de la deformación unitaria para un total de 24 prismas de mampostería. Para los 6 especímenes restantes no fue posible la construcción de

las curvas debido a problemas asociados a lecturas incorrectas del montaje experimental, lo cual ocasiono curvas con comportamientos atípicos, y, además, durante la etapa del coronamiento, tres especímenes fallaron (PNS3, PNS4 y PNS5). El comportamiento registrado en la investigación concuerda con la literatura, puesto que presentaron un comportamiento similar entre sí, caracterizado por una zona ascendente con cierta linealidad, la cual se transforma en una especie de parábola conforme se aproxima al esfuerzo máximo.

Tal y como se indicó en la **Sección 5.4.5** del presente estudio, las curvas registran la descarga del 93% de la resistencia máxima. Este comportamiento es similar al experimentado por los investigadores Vaca (2019) y Núñez (2019), los cuales no pudieron registrar deformaciones después de alcanzar la resistencia máxima, debido a que una vez que obtuvieron la resistencia máxima, registraron caídas abruptas en las curvas.

#### **6.1.4 Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad promedio para los prismas rellenos fue de 15906,75 MPa (162203,67 kg/cm<sup>2</sup>) y 13050,53 MPa (133078,38 kg/cm<sup>2</sup>) para los prismas vacíos, es decir, se reportó un valor global para el módulo de 14478,64 MPa (147641,02 kg/cm<sup>2</sup>). Se alcanzó una relación promedio de  $E_m/f'_m$  de 808 para la totalidad de la muestra, donde la relación promedio de  $E_m/f'_m$  para los prismas rellenos fue de 950,27 y 666,04 para los especímenes vacíos, por lo tanto, el valor promedio de la totalidad de la muestra es superior al definido en el CSCR 2010-14 (750), no obstante, no supera el valor establecido en el TMS 402-16 (900). De esta manera, se observa que el valor indicado en el CSCR 2010-14 es más conservador, puesto que se adapta de una forma más certera al comportamiento observado en el presente estudio, dado que los prismas de mampostería presentaron mayor rigidez que la que se establece en el CSCR 2010-14.

La variabilidad observada en el estudio en cuanto al módulo de elasticidad fue alta, principalmente para el caso de los prismas vacíos, sin embargo, se logró determinar que la totalidad de los prismas de mampostería se encuentran dentro del rango de variabilidad, esto con base en la literatura.

#### **6.1.5 Deformación unitaria**

La deformación unitaria promedio para los prismas rellenos fue de 0,0030 y 0,0038 para los prismas vacíos, es decir, se reportó un valor global para la deformación de 0,0034. Estos resultados demuestran que los prismas de mampostería del estudio registraron deformaciones mayores a las definidas en el CSCR 2010-14 (0,0030) y el TMS 402-16 (0,0025) antes de llegar



a la falla. Por lo tanto, para términos de la deformación, las normativas vigentes brindan valores de diseño conservadores. No obstante, tomando como referencia los resultados del presente estudio y los de las investigaciones realizadas a nivel nacional, el valor más oportuno para establecer la deformación última de diseño corresponde a 0,0025, tal y como se establece en el TMS 402-16, puesto que engloba una mayor cantidad de resultados experimentales.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda elaborar estudios complementarios que incorporen una mayor cantidad de variables, se podrían plantear investigaciones que incorporen distintos proveedores para los componentes de los prismas (unidades de mampostería, mortero de pega y concreto de relleno), asimismo, variantes en la geometría de los bloques y en la relación de esbeltez, con la finalidad de incrementar los registros experimentales a nivel nacional y obtener un comportamiento más representativo de la realidad del país.

Someter a ensayos de compresión prismas de mampostería conformados por tres bloques de altura, de tal forma que se incrementen las relaciones de  $h_p/t_p$  (aumento de la relación de esbeltez) y se disminuya el efecto de confinamiento de las placas de carga. Esta variante permitiría obtener resultados más aproximados a los que presentan las paredes de mampostería a nivel nacional.

Corroborar durante el proceso de fabricación de los prismas y del proceso de carga de los especímenes el tema de la nivelación, esto para evitar eventuales excentricidades en el montaje. Para poder cumplir con esta recomendación se debe asegurar la nivelación a lo largo del proceso, desde la concepción del prisma (construcción y coronamiento) hasta el proceso de falla del prisma. Durante la colocación del aditamento se recomienda la utilización de un nivel de burbuja, puesto que los resultados registrados por los medidores de deformación eléctricos (Linear Variable Differential Transformer, por sus siglas en inglés LVDT) son muy sensibles a las excentricidades.

En cuanto al aditamento, se recomienda emplear un montaje análogo al usado en el presente estudio, complementándolo con un equipo de medición laser, puesto que se logró observar durante los ensayos, que los sensores LVDT's son muy sensibles a las excentricidades, es decir, cualquier rotación o desplazamiento del aditamento puede implicar en una lectura errónea de la deformación del prisma de mampostería.

Se recomienda coordinar una mayor supervisión y acompañamiento de los técnicos del LannameUCR durante los ensayos, puesto que para términos del presente estudio la colaboración de los técnicos se centró específicamente en las pruebas de falla de los prismas de mampostería. Si bien es cierto, todos los ensayos realizados en la presente investigación se realizaron siguiendo los lineamientos definidos en el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, el factor de experticia de la mano de obra es un elemento que se debe de controlar durante el proceso de los ensayos.

## Capítulo 7. Referencias bibliográficas

- Abarca, A. & González, G. (2017). Resistencia de bloques y prismas de mampostería de concreto en Costa Rica. *Métodos & materiales*, 5(1), 28-29.
- American Society for Testing Materials (2021). ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM.
- American Society for Testing Materials (2021). ASTM C1716: Standard Specification for Compression Testing Machine Requirements for concrete Masonry Units, Related Units and Prisms. ASTM.
- Carvajal, W. (2000). Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 12x20x40 cm. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cascante, L. (2001). Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 20x20x40 cm. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Chaves, D. (2016). Análisis de la consolidación del concreto de relleno en mampostería de 12 cm de espesor utilizando las dosificaciones del Código Sísmico de Costa Rica 2010. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (CFIA). (2011). Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2014). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Concrepal. (2023). *Block de concreto tradicional 15x20x40 cm*. [https://www.concrepal.com/wp-content/uploads/2021/12/Ficha-Block-15-x-20-x-40\\_compressed.pdf](https://www.concrepal.com/wp-content/uploads/2021/12/Ficha-Block-15-x-20-x-40_compressed.pdf)
- Drysdale, R. & Hamid, A. (1979) Behavior Characteristics of Block Masonry under Axial Compression. *Journal of the American Concrete Institute*, 76(6), 707-722.

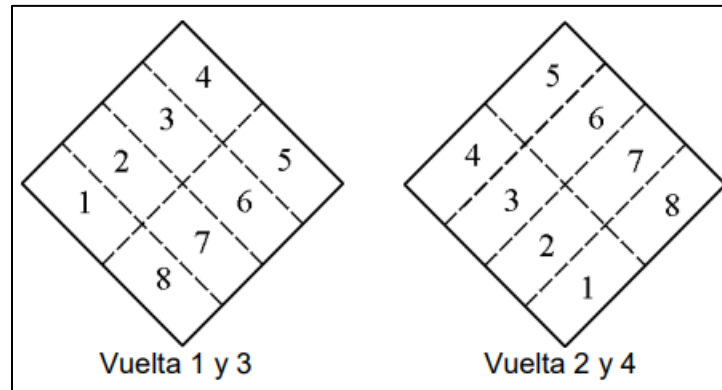
- Flores, A. (2010). Modelos esfuerzo-deformación para mampostería fabricada en México D.F. Proyecto de graduación para optar por el grado de Maestro en Ingeniería Estructural, Escuela de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F.
- Fortes, E., Parsekian, G. & Fonseca, F. (2014). Relationship between the Compressive Strength of Concrete Masonry and the Compressive Strength of Concrete Masonry Units. *Journal of the American Society of Civil Engineers*, 27(9).
- Hamid, A. & Drysdale, R. (1979). Suggested Failure Criteria for Grouted Concrete Masonry Under Axial Compression. *Journal of the American Concrete Institute*, 76(43), 1047-1061.
- Hamid, A. (1978). Behavior Characteristics of Concrete Masonry. [Thesis for the Degree Doctor of Philosophy in Civil Engineering, McMaster University, Ontario, Canadá].
- Hamid, A., Drysdale R. & Baker, L. (2008). *Masonry Structures Behavior and Design*. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall.
- Hamid, A., Drysdale R. & Baker, L. (2008). *Masonry Structures Behavior and Design*. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2015). INTE C55: Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería. INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2015). INTE C91: Mortero para unidades de mampostería. Requisitos. INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). INTE C90: Unidades de mampostería de concreto para uso estructural. Requisitos. INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). INTE C53: Práctica para el coronamiento de unidades de mampostería de concreto, unidades relacionadas y prismas de mampostería para ensayos de compresión. INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). INTE C56: Morteros y mampostería. Muestreo y ensayos de concreto de relleno para mampostería hueca de concreto. INTECO.

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2021). Morteros y mampostería. Muestreo y método de ensayo de unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas. Método de ensayo. (INTE C50).
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2022). INTE C57: Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulgadas). Método de ensayo. INTECO.
- INTACO. (2023). *CRC Concreto Convencional de relleno de celdas de bloques*. [https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft\\_crc\\_convencional.pdf](https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_crc_convencional.pdf)
- James, E. & Porter, M. (2009). Reinforced Masonry Engineering Handbook. New Jersey: Masonry Institute of America.
- Khalaf, F. (1996). Factor Influencing Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms. Magazine of Concrete Research, 48(175), 95-101.
- Khalaf, F., Hendry, A. & Fairbairn, D. (1992). Mechanical properties of materials used in concrete blockwork construction. Magazine of Concrete Research, 44(158), 1-14.
- Masonry Standards Joint Committee. (2016). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures. The Masonry Society, The American Concrete Institute and American Society of Civil Engineers.
- Mata, C. (1979). Ensayos de las propiedades mecánicas de la mampostería de bloques de concreto. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Navas, A. & Salazar, J. (2014). Propiedades geométricas de los bloques y la mampostería de concreto. Revista Ingeniería, 24(2), 129-130. [https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929/pdf\\_27](https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929/pdf_27).
- Navas, A. (1999). Propiedades Mecánicas de la mampostería de concreto. [Proyecto final de Graduación para optar por el grado de Maestría, Escuela de Ingeniería Civil].

- Navas, A. (2007). Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. *Revista Ingeniería*, 17(2), 53-70.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/7746/7410>.
- Navas, A. (2022). Estructuras de mampostería. Manual del curso IC-1014: Diseño de estructuras de mampostería. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Núñez, B. (2019). 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. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Reglamento Nacional de Construcción (RNC). (1983). Norma mínima de diseño y construcción de Mampostería MP-001.
- Rodríguez, F. (1986). Pruebas de mampostería de bloques de concreto. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Rodríguez, R. (1999). Medición de las propiedades estructurales en la mampostería de bloques de concreto relleno de 15x20x40 cm. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Vaca, C. (2019). Curva esfuerzo-deformación de mampostería con bloques de 20x20x40 cm y 13,6x13,6x28,6 cm. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Vargas, J. (2020). Efecto del mortero de pega y el concreto de relleno en la resistencia a la compresión de la mampostería nacional. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## Capítulo 8. Anexos

### 8.1 Anexo A



**Figura 8-1.** Orden del proceso de apisonado en la fabricación de los especímenes de ensayo.  
Fuente: (INTE C57, 2015)

## Capítulo 9. Apéndices

### 9.1 Bloques de 15x20x40 cm

**Tabla 9-1.** Dimensiones detalladas de las unidades de mampostería.

Parámetro	Simbología	Espécimen			
		Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	151	151	151	151
	W <sub>2</sub>	151	152	151	150
	W <sub>prom</sub>	151	152	151	151
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	193	192	192	192
	H <sub>2</sub>	192	192	193	192
	H <sub>prom</sub>	193	192	193	192
Longitud (mm)	L <sub>1</sub>	391	391	392	392
	L <sub>2</sub>	391	393	392	392
	L <sub>prom</sub>	391	392	392	392

### 9.2 Concreto de relleno

#### 9.2.1 Dimensiones

##### 9.2.1.1 Concreto de relleno empleado en la fabricación de prismas de mampostería con mortero tipo M

**Tabla 9-2.** Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo M.

Parámetro	Simbología	Espécimen		
		1	2	3
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	100	96	106
	W <sub>2</sub>	98	96	100
	W <sub>3</sub>	100	96	104
	W <sub>4</sub>	96	96	100
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	198	196	196
	H <sub>2</sub>	198	196	196
	H <sub>3</sub>	198	196	196
	H <sub>4</sub>	198	196	196
Perpendicularidad	-	Cumple	Cumple	Cumple
Planicidad	-	Cumple	Cumple	Cumple



### 9.2.1.2 Concreto de relleno empleado en la fabricación de prismas de mampostería con mortero tipo S

**Tabla 9-3.** Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo S.

Parámetro	Simbología	Espécimen		
		1	2	3
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	96	94	94
	W <sub>2</sub>	94	98	90
	W <sub>3</sub>	96	94	94
	W <sub>4</sub>	94	98	92
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	202	200	204
	H <sub>2</sub>	202	200	202
	H <sub>3</sub>	202	200	204
	H <sub>4</sub>	202	200	202
Perpendicularidad	-	Cumple	Cumple	Cumple
Planicidad	-	Cumple	Cumple	Cumple

### 9.2.1.3 Concreto de relleno empleado en la fabricación de prismas de mampostería con mortero tipo N

**Tabla 9-4.** Dimensiones de los prismas de concreto empleado en la fabricación de los prismas de mampostería con mortero tipo N.

Parámetro	Simbología	Espécimen		
		1	2	3
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	94	90	90
	W <sub>2</sub>	90	90	94
	W <sub>3</sub>	94	92	90
	W <sub>4</sub>	92	90	94
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	194	192	194
	H <sub>2</sub>	194	192	194
	H <sub>3</sub>	194	190	194
	H <sub>4</sub>	194	192	192
Perpendicularidad	-	Cumple	Cumple	Cumple
Planicidad	-	Cumple	Cumple	Cumple

## 9.2.2 Resistencias

**Tabla 9-5.** Resistencias obtenidas para el concreto de relleno empleado en la fabricación de los prismas de mampostería.

Espécimen	Unidad	Carga (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Mortero M	1	155,75	9700	16,05	163,70
	2	148,20	9216	16,10	163,90
	3	166,80	10500	15,90	161,95
Mortero S	1	94,85	9024	10,50	107,15
	2	112,60	9212	12,20	124,60
	3	119,10	8554	13,90	141,95
Mortero N	1	115,45	8554	13,50	137,60
	2	99,05	8190	12,10	123,30
	3	96,15	8460	11,35	115,85
<b>Promedio</b>				13,51	137,78
<b>Desviación estándar (S)</b>				2,13	21,67
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>				15,80	15,73

## 9.3 Prismas de mampostería

### 9.3.1 Dimensiones

#### 9.3.1.1 Prismas de mampostería fabricados con mortero tipo M

**Tabla 9-6.** Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo M.

Parámetro	Simbología	Espécimen				
		PMS1	PMS2	PMS3	PMS4	PMS5
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	151	150	151	150	151
	W <sub>2</sub>	151	150	151	151	151
	W <sub>3</sub>	150	150	150	151	150
	W <sub>4</sub>	151	150	150	150	151
	W <sub>prom</sub>	151	150	151	150	151
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	395	396	397	393	394
	H <sub>2</sub>	395	396	398	392	394
	H <sub>3</sub>	395	396	397	393	393
	H <sub>4</sub>	395	397	398	392	393
	H <sub>prom</sub>	395	396	398	392	394
Longitud (mm)	L <sub>1</sub>	391	391	391	391	391
	L <sub>2</sub>	392	392	391	391	391
	L <sub>3</sub>	392	392	391	392	391
	L <sub>4</sub>	391	392	392	393	393
	L <sub>prom</sub>	391	392	391	392	392

### 9.3.1.2 Prismas de mampostería fabricados con mortero tipo S

**Tabla 9-7.** Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo S.

Parámetro	Simbología	Espécimen				
		PSS1	PSS2	PSS3	PSS4	PSS5
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	151	150	151	151	150
	W <sub>2</sub>	151	150	150	150	151
	W <sub>3</sub>	151	150	150	151	151
	W <sub>4</sub>	151	150	151	151	151
	W <sub>prom</sub>	151	150	151	151	151
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	397	394	394	396	397
	H <sub>2</sub>	397	393	391	395	395
	H <sub>3</sub>	397	395	392	395	396
	H <sub>4</sub>	397	395	393	396	398
	H <sub>prom</sub>	397	394	393	396	397
Longitud (mm)	L <sub>1</sub>	391	391	391	392	391
	L <sub>2</sub>	391	392	392	391	390
	L <sub>3</sub>	391	392	392	391	391
	L <sub>4</sub>	391	391	391	391	391
	L <sub>prom</sub>	391	391	391	391	391

### 9.3.1.3 Prismas de mampostería fabricados con mortero tipo N

**Tabla 9-8.** Dimensiones de los prismas de mampostería fabricados con mortero tipo N.

Parámetro	Simbología	Espécimen				
		PNS1	PNS2	PNS3	PNS4	PNS5
Ancho (mm)	W <sub>1</sub>	151	150	151	150	151
	W <sub>2</sub>	150	150	151	150	151
	W <sub>3</sub>	150	150	151	151	150
	W <sub>4</sub>	150	150	151	150	150
	W <sub>prom</sub>	150	150	151	150	151
Altura (mm)	H <sub>1</sub>	396	391	394	389	393
	H <sub>2</sub>	395	390	393	390	393
	H <sub>3</sub>	395	391	390	389	393
	H <sub>4</sub>	396	391	391	389	390
	H <sub>prom</sub>	395	391	392	389	392
Longitud (mm)	L <sub>1</sub>	392	392	392	391	390
	L <sub>2</sub>	391	393	391	391	391
	L <sub>3</sub>	392	392	391	392	390
	L <sub>4</sub>	391	391	391	391	392
	L <sub>prom</sub>	391	392	391	391	391

### 9.3.2 Resistencia a la compresión de los especímenes de ensayo

#### 9.3.2.1 Prismas de mampostería con concreto de relleno

**Tabla 9-9.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo M y con concreto de relleno.

Especímen	Carga	Área bruta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PMR1	965,74	58650	2,65	1,05	17,27	176,08
PMR2	916,02	59041	2,66	1,05	16,28	165,96
PMR3	1009,74	59041	2,66	1,05	17,95	182,99
PMR4	819,32	59041	2,64	1,05	14,55	148,31
PMR5	920,28	58800	2,66	1,05	16,43	167,43
<b>Promedio</b>					16,50	168,15
<b>Desviación estándar (S)</b>					1,28	13,06
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					7,77	7,77

**Tabla 9-10.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo S y con concreto de relleno.

Especímen	Carga	Área bruta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PSR1	940,76	59041	2,63	1,05	16,70	170,20
PSR2	923,17	58650	2,63	1,05	16,49	168,13
PSR3	952,62	59041	2,66	1,05	16,94	172,64
PSR4	963,30	59192	2,64	1,05	17,06	173,91
<b>Promedio</b>					16,80	171,22
<b>Desviación estándar (S)</b>					0,25	2,57
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					1,50	1,50

**Tabla 9-11.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo N y con concreto de relleno.

Especímen	Carga	Área bruta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PNR1	935,14	59041	2,60	1,05	16,57	168,91
PNR2	866,23	59041	2,63	1,05	15,37	156,69
PNR3	966,69	58800	2,60	1,05	17,19	175,25
PNR4	906,95	59192	2,60	1,05	16,03	163,38
PNR5	951,28	59041	2,60	1,05	16,86	171,85
<b>Promedio</b>					16,40	167,21
<b>Desviación estándar (S)</b>					0,72	7,32
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					4,38	4,38

### 9.3.2.2 Prismas de mampostería sin concreto de relleno

**Tabla 9-12.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo M y sin concreto de relleno.

Espécimen	Carga	Área neta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PMS1	607,45	31621	2,62	1,05	20,12	205,05
PMS2	623,31	31621	2,64	1,05	20,66	210,61
PMS3	598,72	31621	2,64	1,05	19,85	202,38
PMS4	584,28	31621	2,61	1,05	19,34	197,10
PMS5	601,12	31621	2,61	1,05	19,90	202,82
<b>Promedio</b>					19,97	203,59
<b>Desviación estándar (S)</b>					0,48	4,89
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					2,40	2,40

**Tabla 9-13.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo S y sin concreto de relleno.

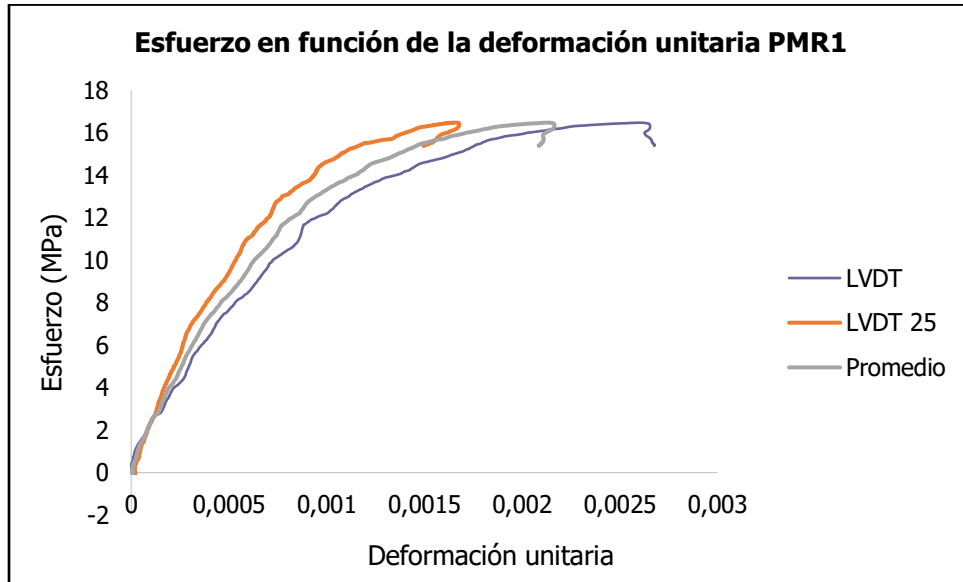
Espécimen	Carga	Área neta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PSS1	568,83	31621	2,63	1,05	18,85	192,19
PSS3	658,05	31621	2,61	1,05	21,78	221,98
PSS4	614,35	31621	2,62	1,05	20,35	207,42
PSS5	608,14	31621	2,63	1,05	20,15	205,41
<b>Promedio</b>					20,28	206,75
<b>Desviación estándar (S)</b>					1,20	12,20
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					5,90	5,90

**Tabla 9-14.** Resistencia a la compresión obtenida para los prismas de mampostería con mortero tipo N y sin concreto de relleno.

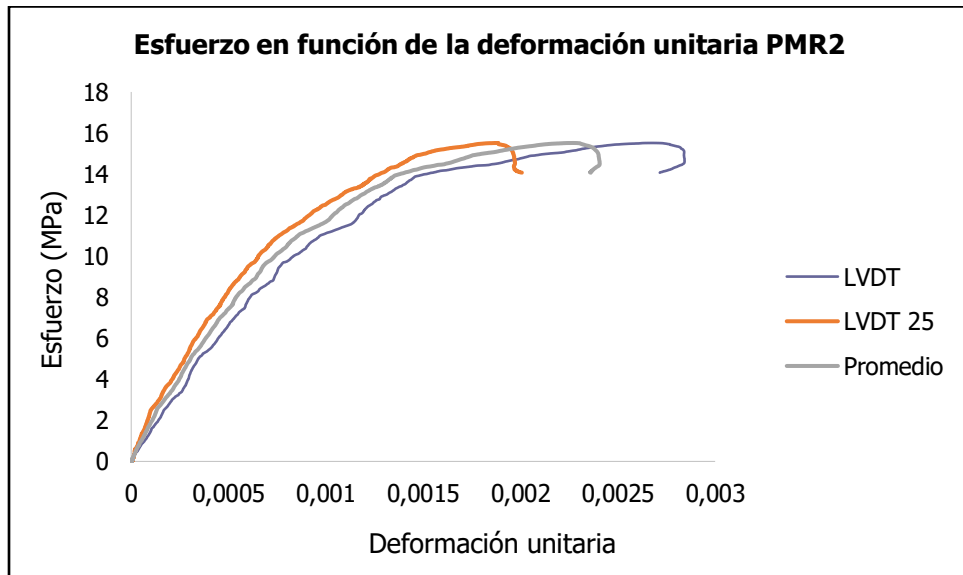
Espécimen	Carga	Área neta	hp/tp	FC	Resistencia f' m	Resistencia f' m
	(KN)	(mm <sup>2</sup> )	-	-	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
PNS1	516,37	31621	2,63	1,05	17,11	174,41
PNS2	615,70	31621	2,60	1,05	20,37	207,62
<b>Promedio</b>					18,74	191,02
<b>Desviación estándar (S)</b>					2,30	23,49
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>					12,30	12,30

### 9.3.3 Curvas de esfuerzo en función de la deformación

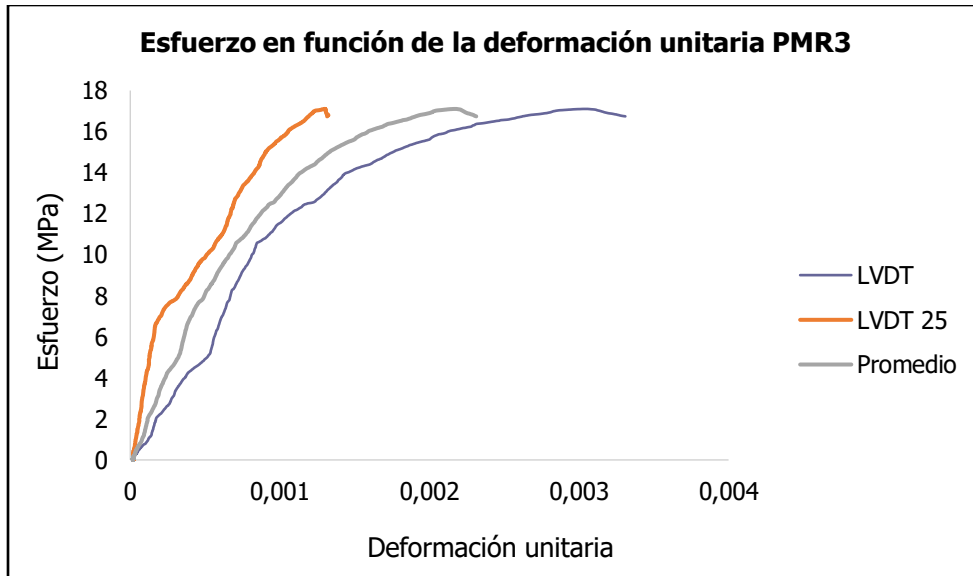
#### 9.3.3.1 Prismas de mampostería con mortero tipo M



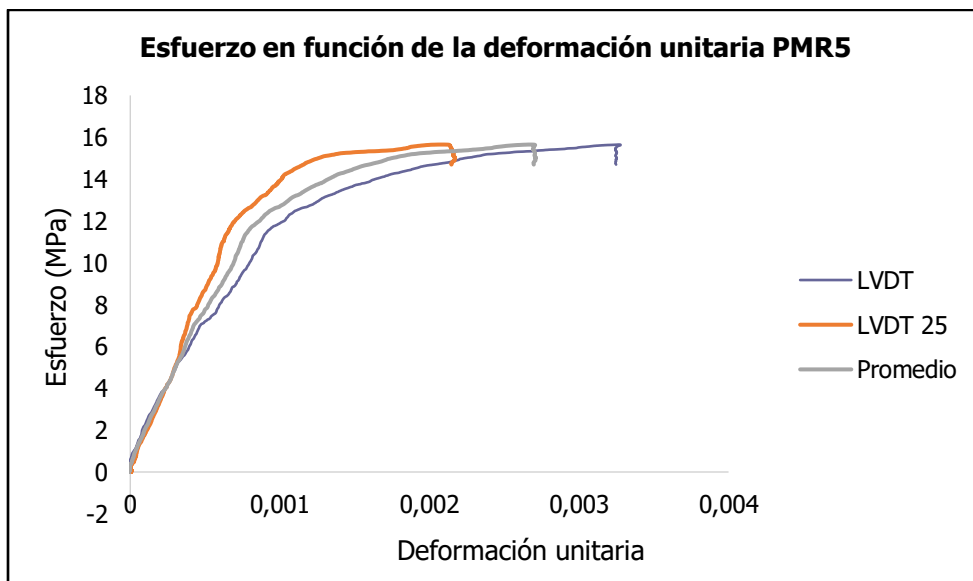
**Figura 9-1.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR1.



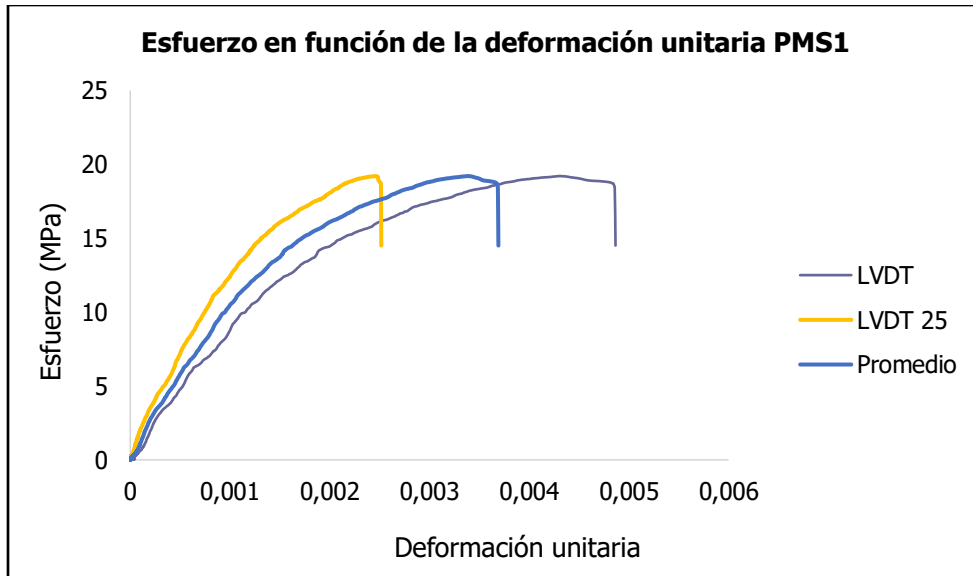
**Figura 9-2.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR2.



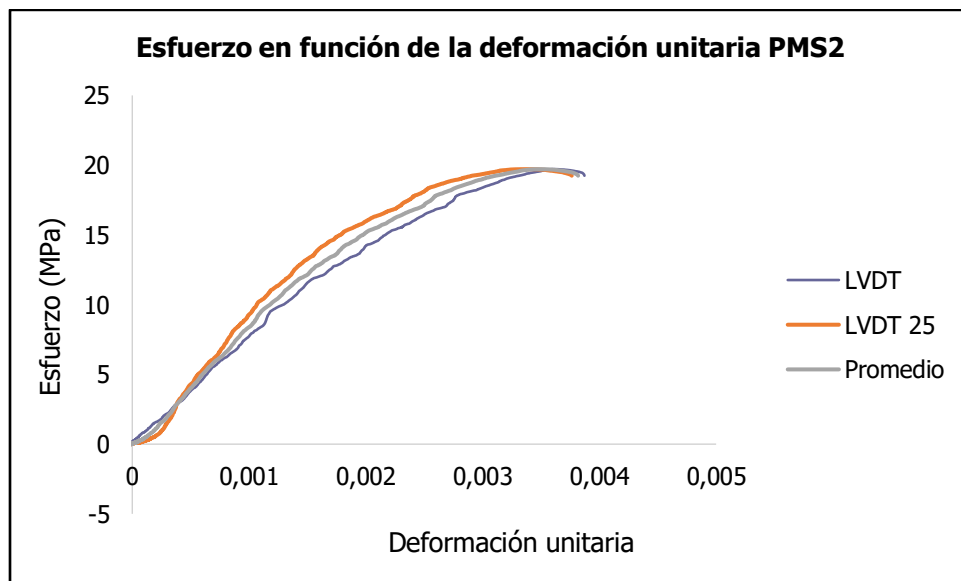
**Figura 9-3.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR3.



**Figura 9-4.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMR5.

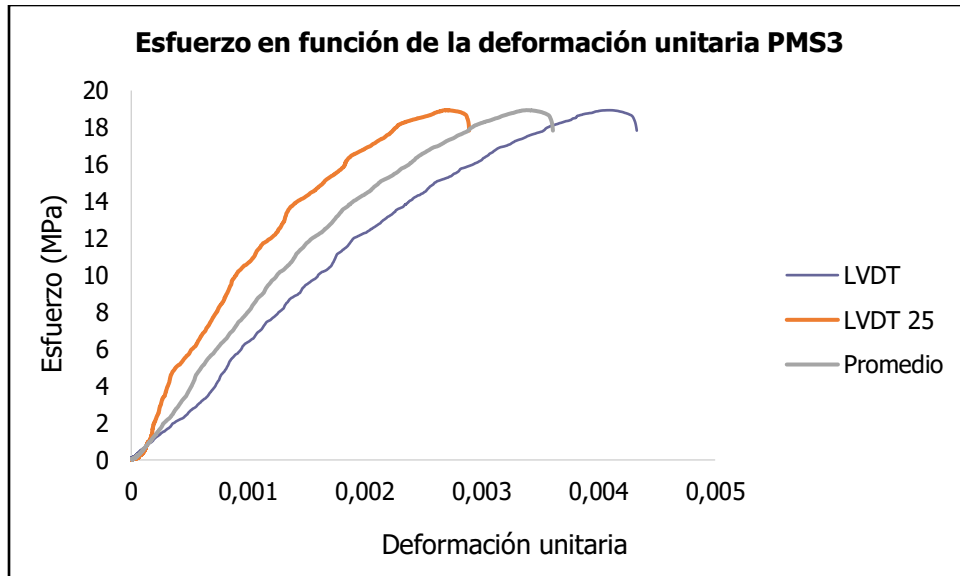


**Figura 9-5.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS1.

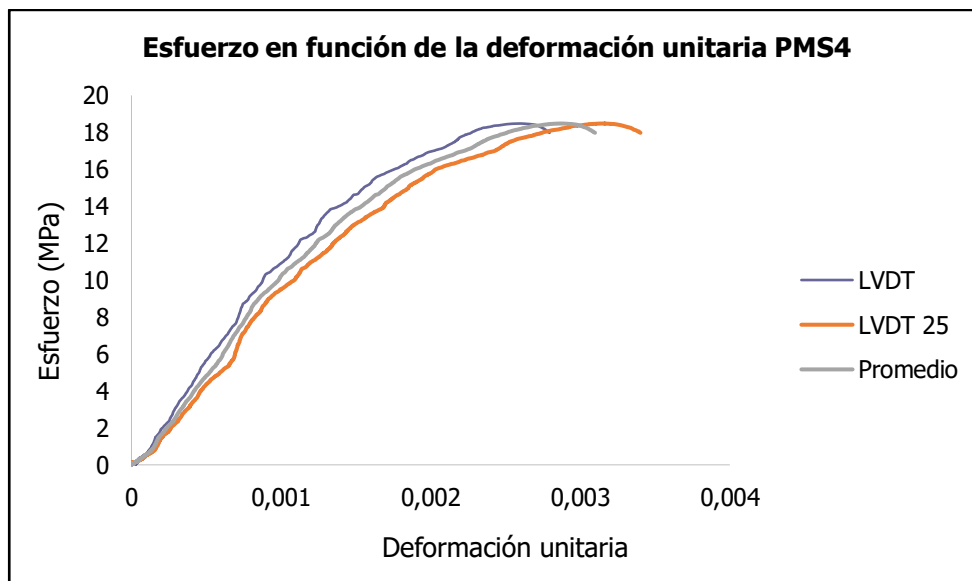


**Figura 9-6.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS2.

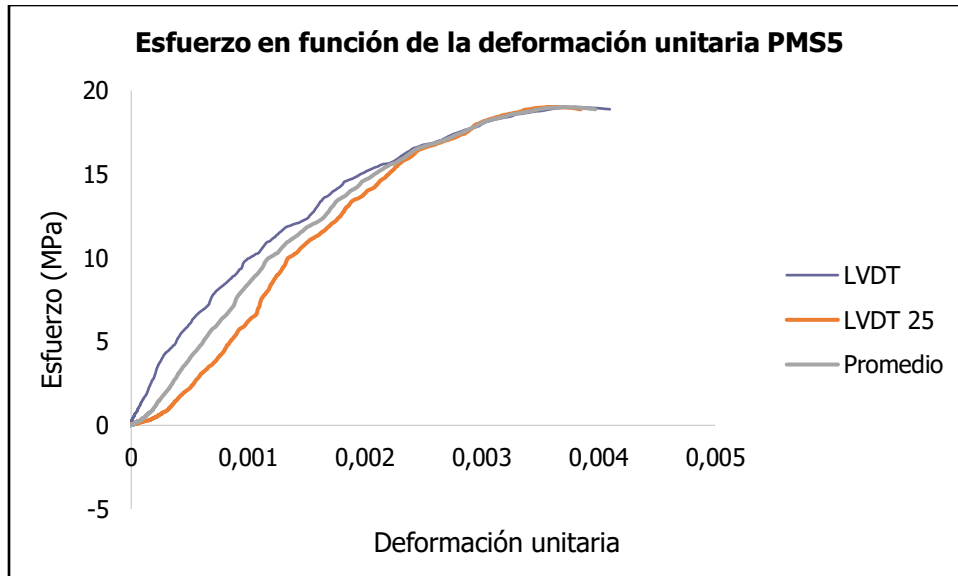




**Figura 9-7.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS3.

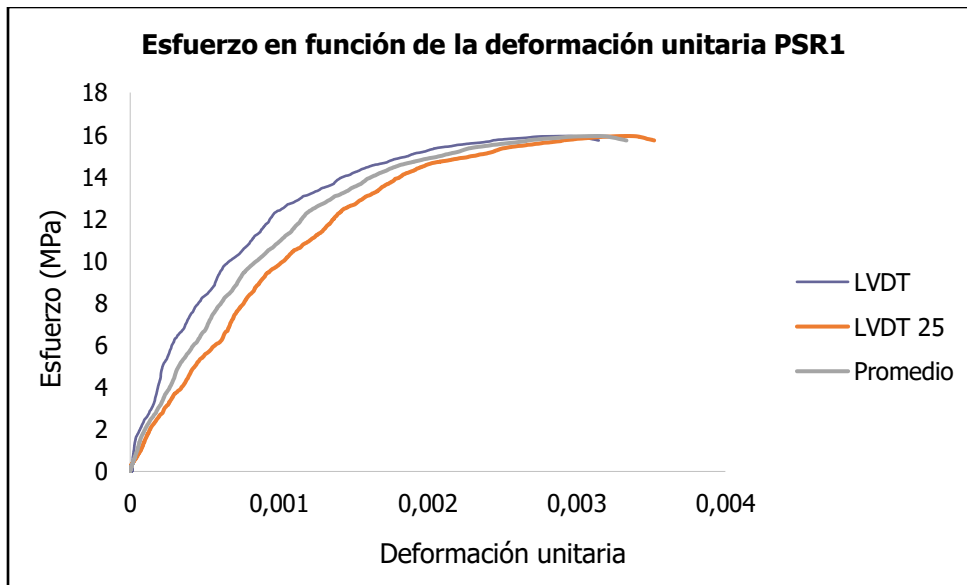


**Figura 9-8.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS4.

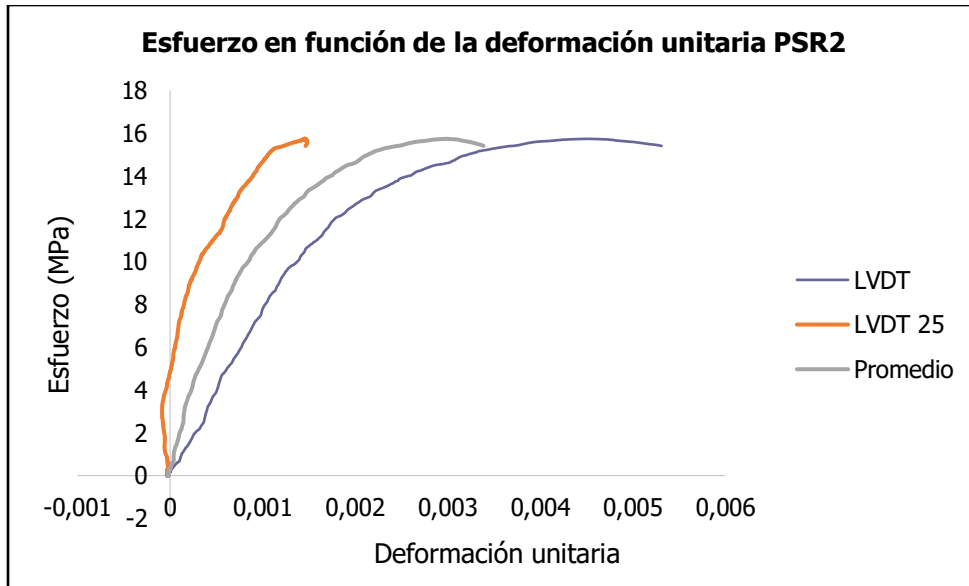


**Figura 9-9.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PMS5.

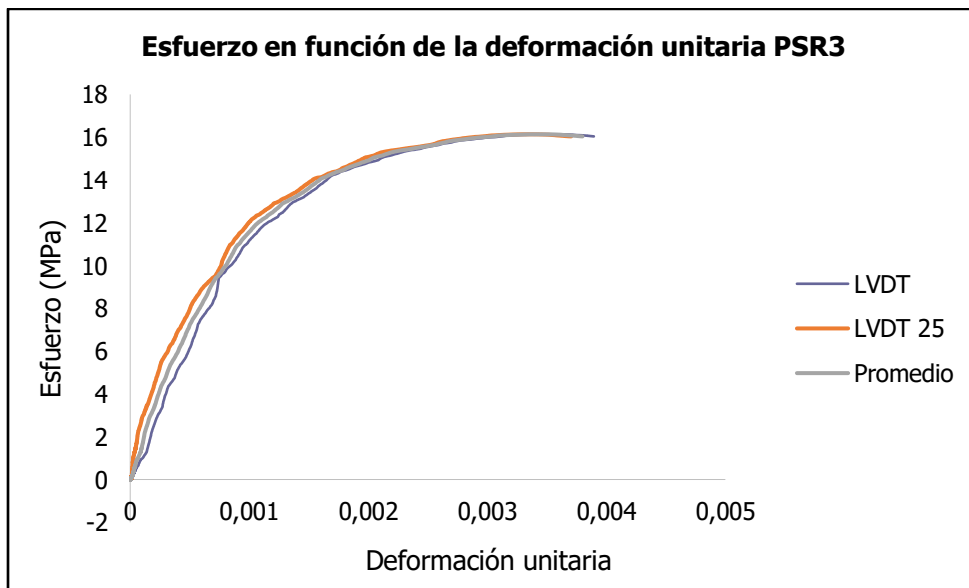
### 9.3.3.2 Prismas de mampostería con mortero tipo S



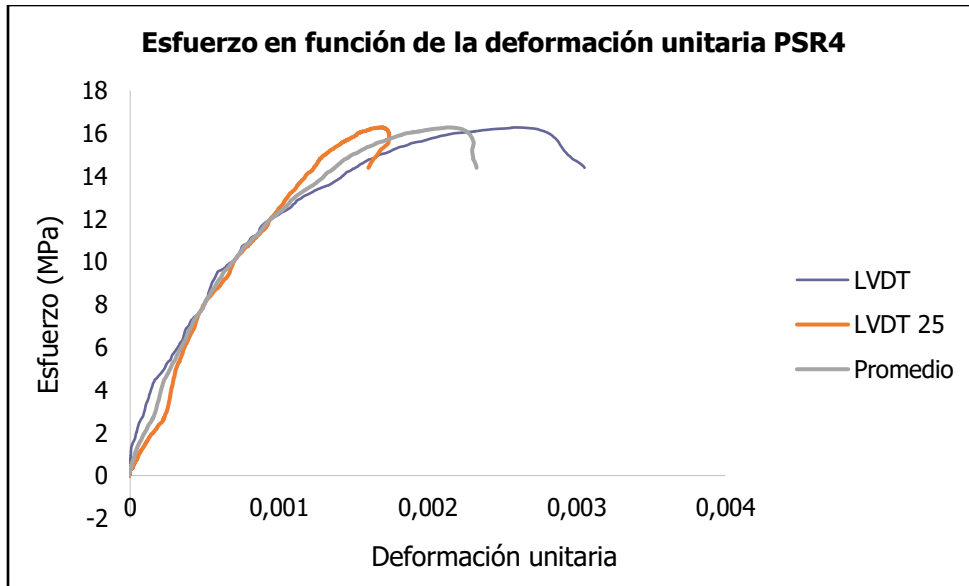
**Figura 9-10.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR1.



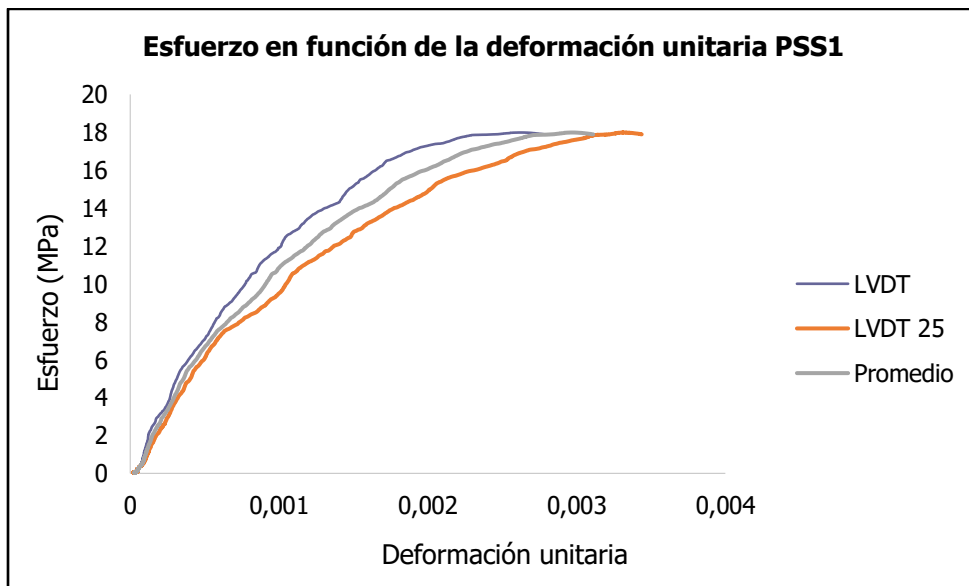
**Figura 9-11.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR2.



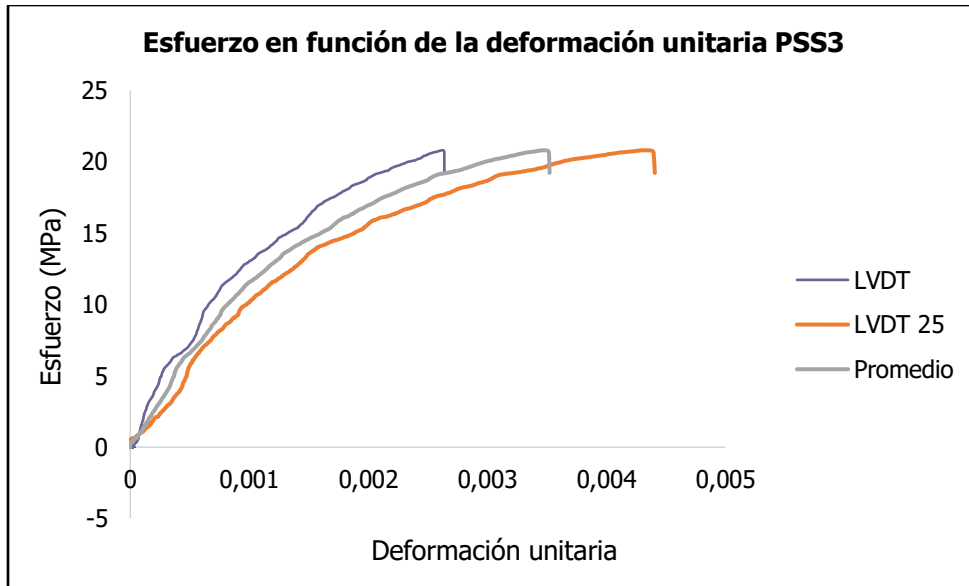
**Figura 9-12.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR3.



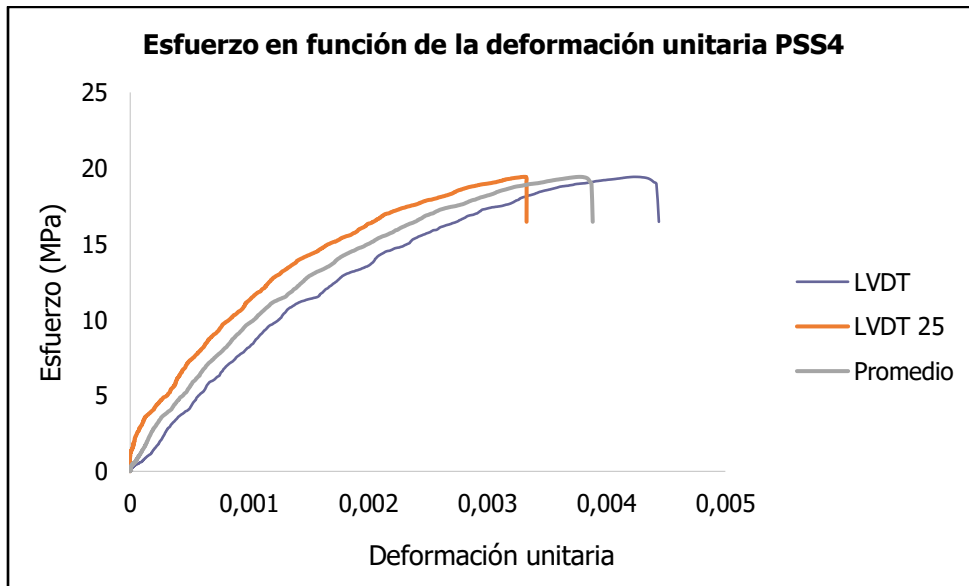
**Figura 9-13.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSR4.



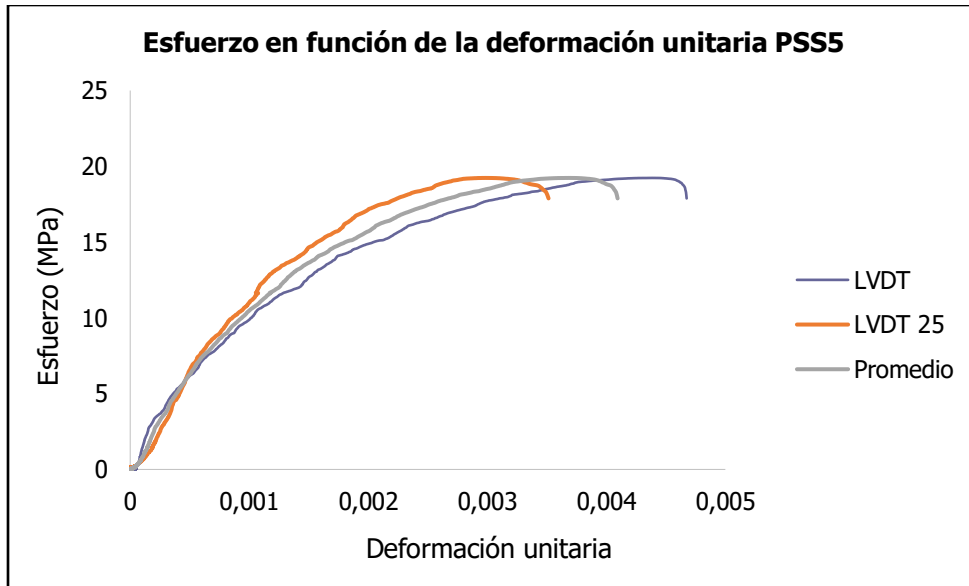
**Figura 9-14.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS1.



**Figura 9-15.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS3.

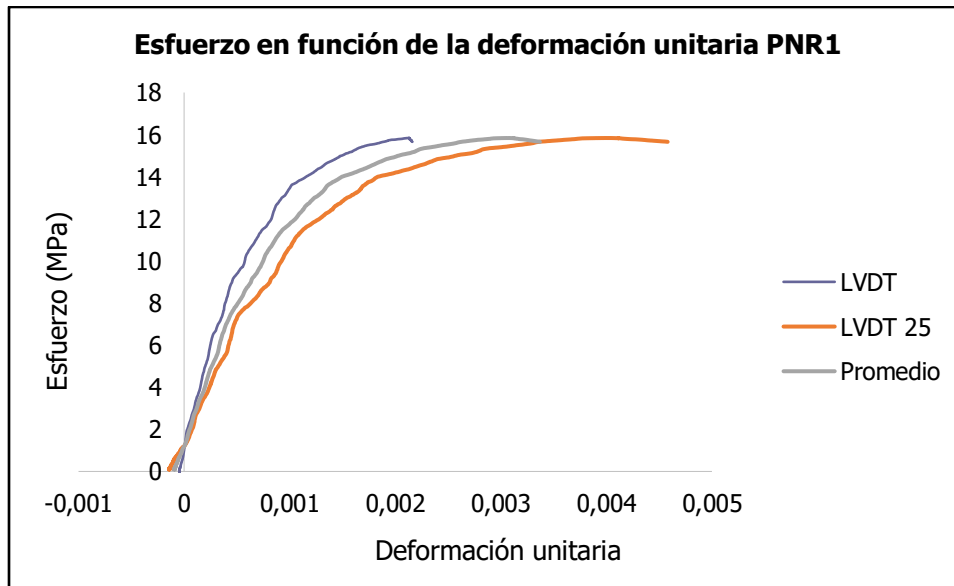


**Figura 9-16.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS4.

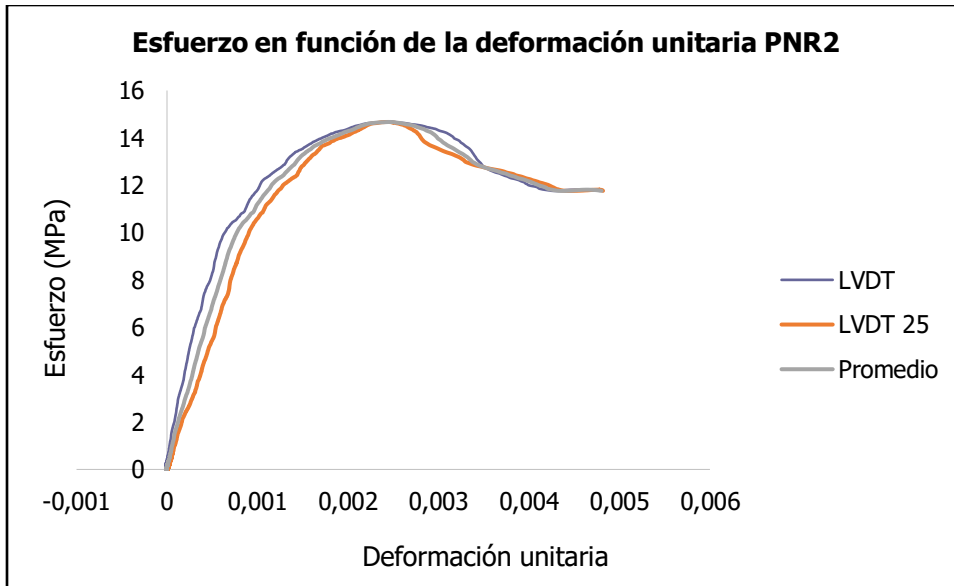


**Figura 9-17.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PSS5.

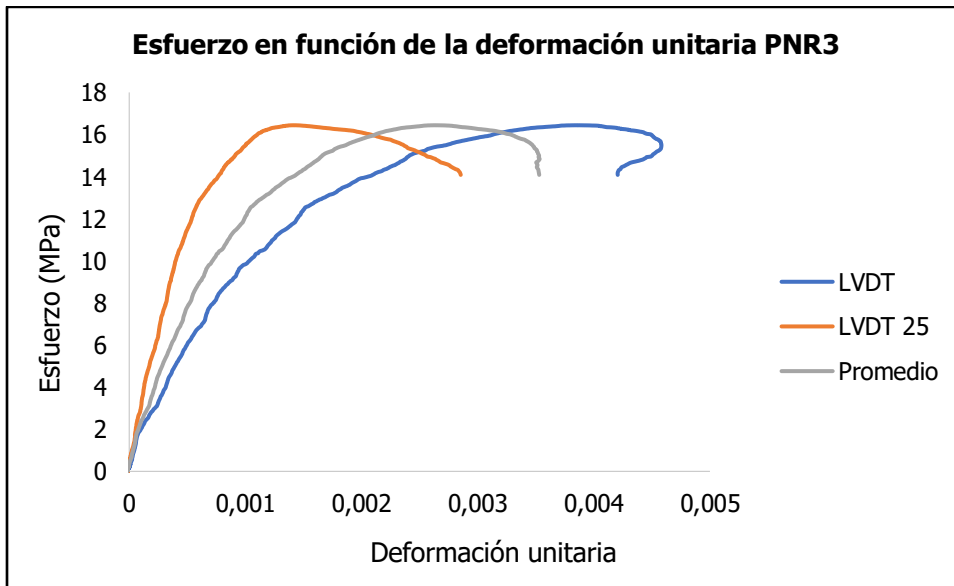
### 9.3.3.3 Prismas de mampostería con mortero tipo N



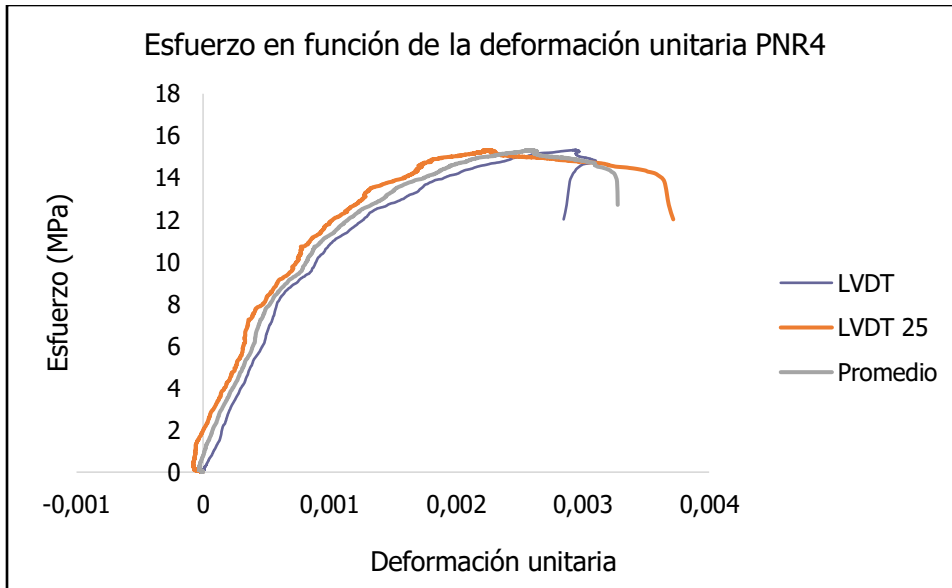
**Figura 9-18.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR1.



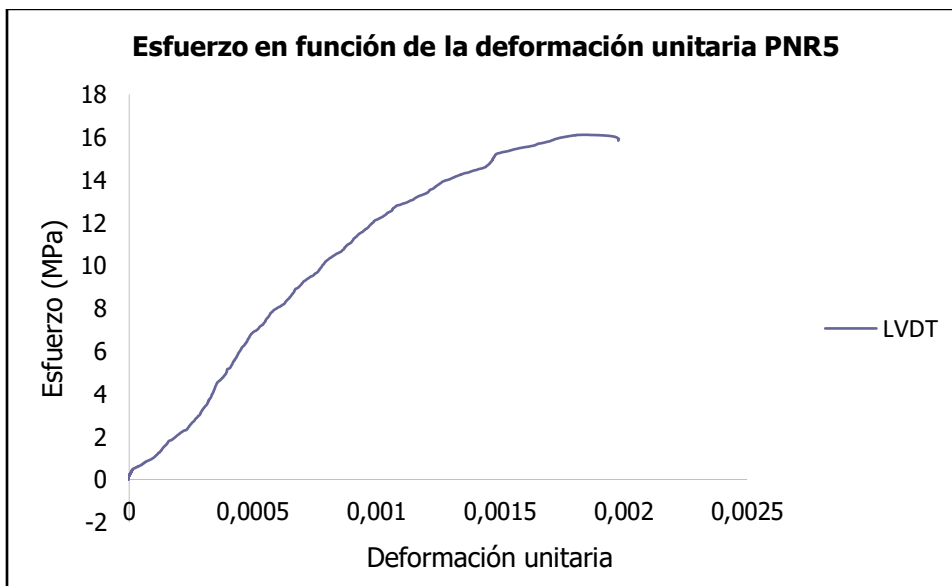
**Figura 9-19.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR2.



**Figura 9-20.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR3.

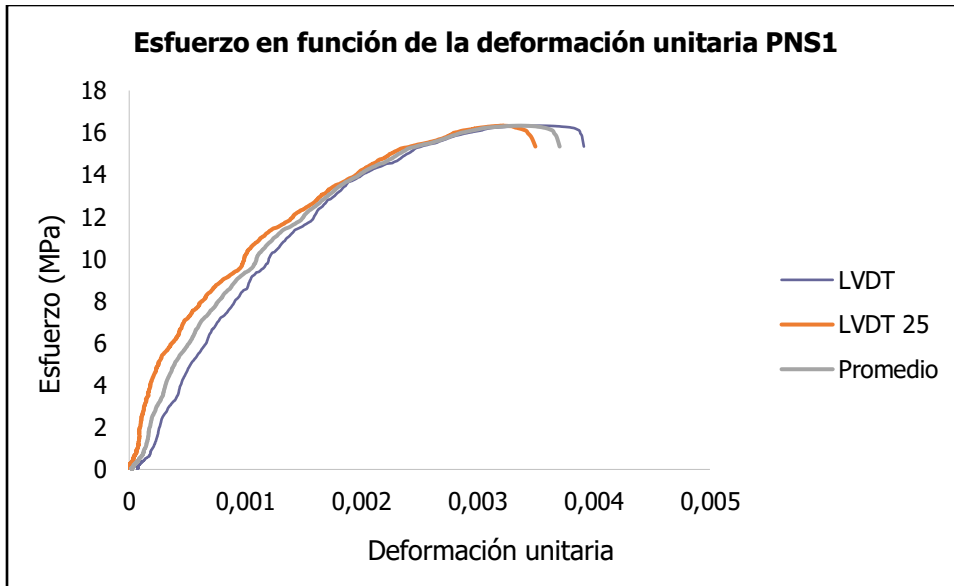


**Figura 9-21.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR4.

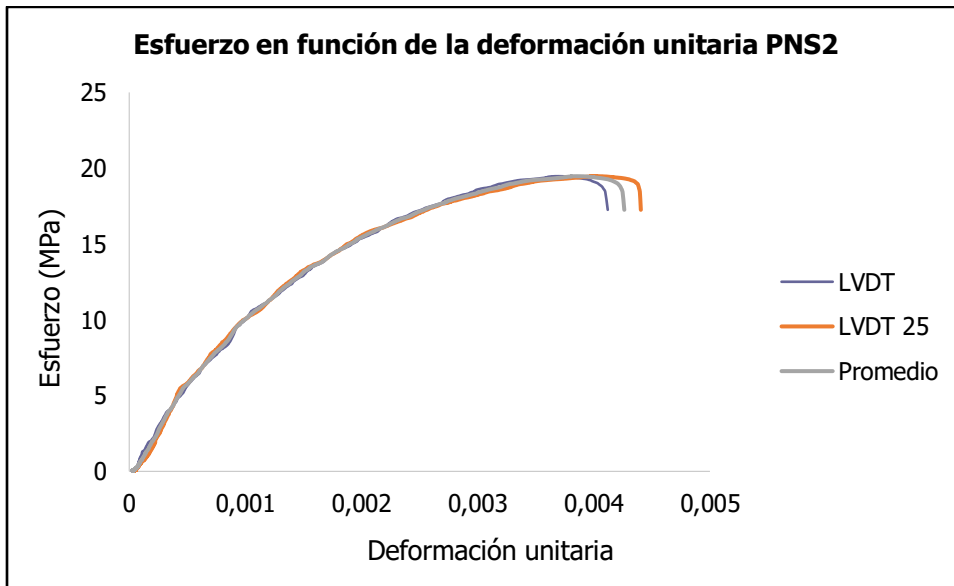


**Figura 9-22.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNR5.





**Figura 9-23.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNS1.



**Figura 9-24.** Curva de esfuerzo en función de la deformación unitaria para el prisma PNS2.

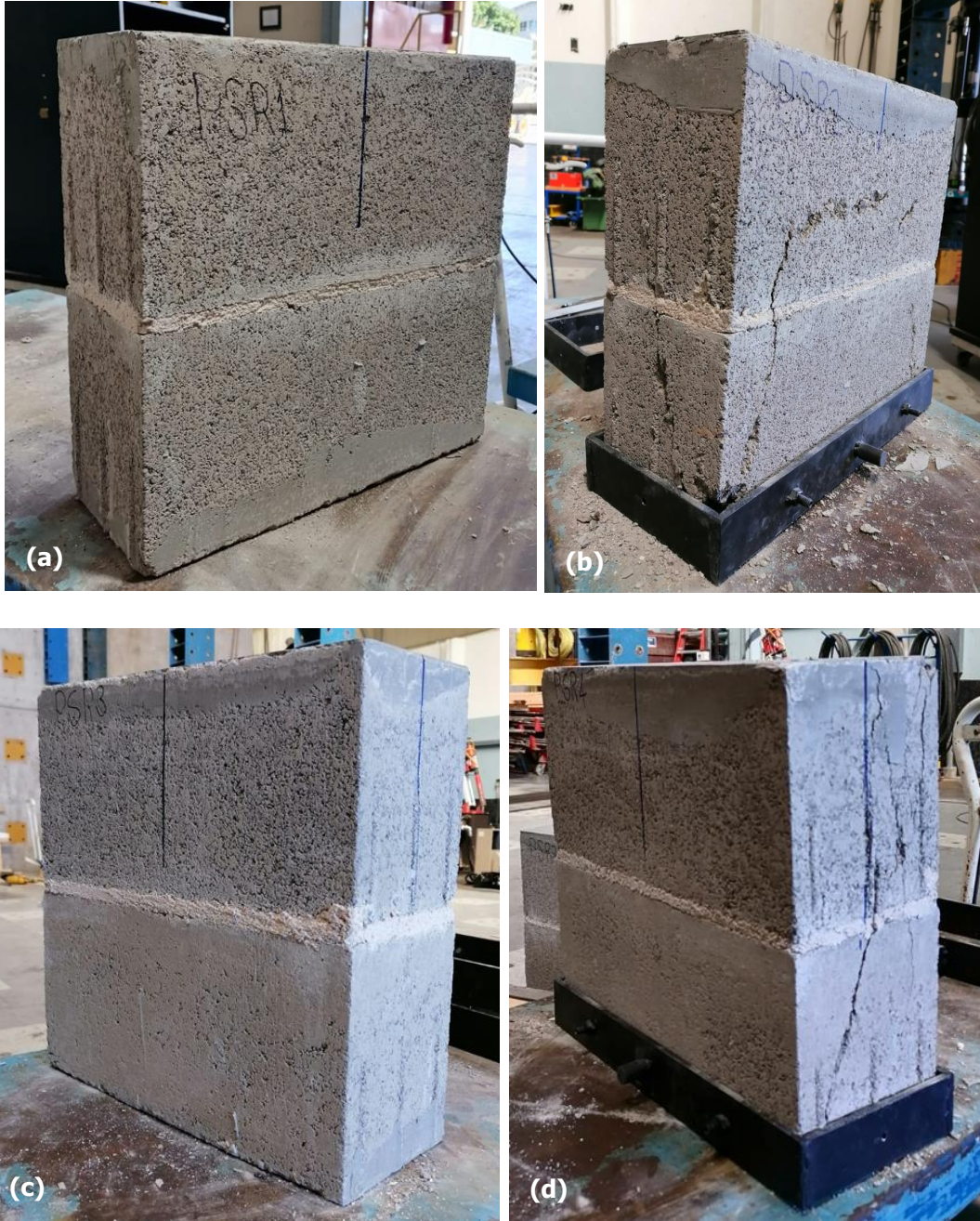
### 9.3.4 Modos de falla de los prismas de mampostería



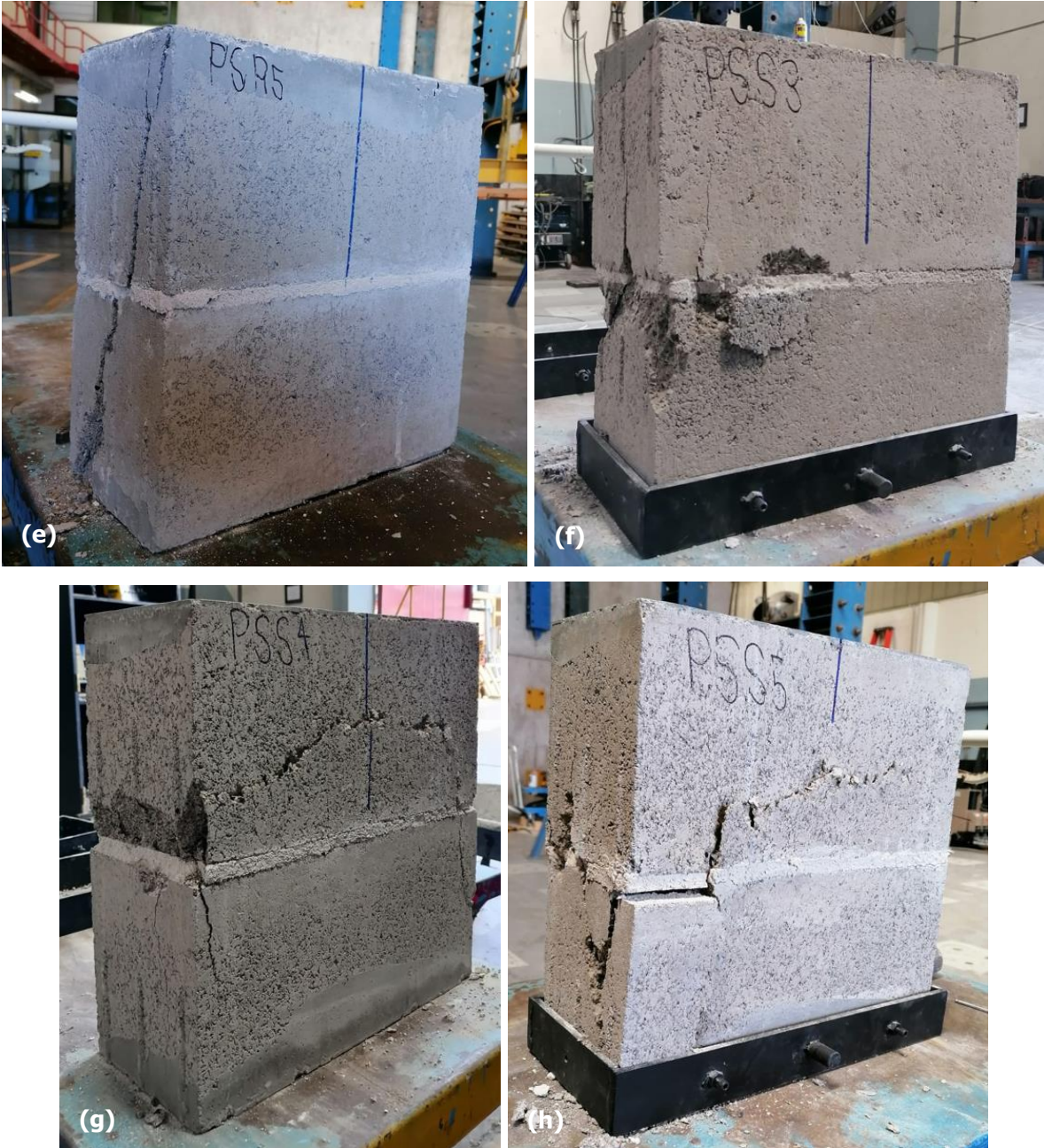
**Figura 9-25.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo M: (a) PMR1, (b) PMR2, (c) PMR3 y (d) PMR4.



**Figura 9-26.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo M: (e) PMS1, (f) PMS2, (g) PMS3 y (h) PMS4 (cont).



**Figura 9-27.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo S: (a) PSR1, (b) PSR2, (c) PSR3 y (d) PSR4.



**Figura 9-28.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo S: (e) PR5, (f) PSS3, (g) PSS4 y (h) PSS5 (cont).



**Figura 9-29.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo N: (a) PNR2, (b) PNR3, (c) PNR4 y (d) PNR5.



**Figura 9-30.** Modos de falla de los prismas de mampostería con mortero tipo N: (e) PNS1, (f) PNS2 (cont).

### 9.3.5 Módulo de elasticidad

#### 9.3.5.1 Prismas de mampostería con concreto de relleno

**Tabla 9-15.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PMR.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m/ f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PMR1	17,27	18359,29	187212,68	1062,87
PMR2	16,28	15997,25	163126,59	982,61
PMR3	17,95	17428,87	177724,97	970,88
PMR5	16,43	15539,71	158460,90	946,10
<b>Promedio</b>	<b>16,98</b>	<b>16831,28</b>	<b>171631,29</b>	<b>990,61</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,68	1124,24	11464,09	43,75
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	3,98	6,68	6,68	4,42

**Tabla 9-16.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PSR.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m/ f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PSR1	16,70	14166,45	144457,51	848,46
PSR2	16,49	16322,08	166438,92	989,60
PSR3	16,94	17242,02	175819,66	1018,06
PSR4	17,06	17659,64	180078,27	1035,11
<b>Promedio</b>	<b>16,80</b>	<b>16347,55</b>	<b>166698,59</b>	<b>972,81</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,25	1557,73	15884,40	85,00
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	1,50	9,53	9,53	8,74

**Tabla 9-17.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PNR.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m/ f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PNR1	16,57	15175,43	154746,32	915,82
PNR2	15,37	14003,65	142797,49	911,04
PNR3	17,19	16207,98	165275,38	942,78
PNR4	16,03	13711,84	139821,91	855,50
PNR5	16,86	13608,16	138764,59	807,22
<b>Promedio</b>	<b>16,40</b>	<b>14541,41</b>	<b>148281,14</b>	<b>886,47</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,72	1121,13	11432,37	54,49
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	4,38	7,71	7,71	6,15



### 9.3.5.2 Prismas de mampostería sin concreto de relleno

**Tabla 9-18.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PMS.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m / f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PMS1	20,12	11767,33	119993,36	584,98
PMS2	20,66	10021,74	102193,37	485,05
PMS3	19,85	9483,11	96700,77	477,66
PMS4	19,34	11168,49	113886,93	577,61
PMS5	19,90	9824,98	100186,98	493,79
<b>Promedio</b>	<b>19,97</b>	<b>10453,13</b>	<b>106592,28</b>	<b>523,82</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,43	867,24	8843,32	47,26
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	2,15	8,30	8,30	9,02

**Tabla 9-19.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PSS.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m / f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PSS1	18,85	15746,12	160565,69	835,17
PSS3	21,78	14857,31	151502,41	682,26
PSS4	20,35	10828,76	110422,68	532,19
PSS5	20,15	14486,45	147720,69	718,90
<b>Promedio</b>	<b>20,28</b>	<b>13979,66</b>	<b>142552,87</b>	<b>692,13</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	1,20	2166,07	22087,79	124,97
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	5,90	15,49	15,49	18,06

**Tabla 9-20.** Módulos de elasticidad obtenidos para los especímenes de ensayo PNS.

Especímen	Resistencia ( $f'_m$ )	Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Módulo de elasticidad $E_m$	$E_m / f'_m$
	(MPa)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
PNS1	17,11	16164,90	164836,18	944,80
PNS2	20,37	13272,69	135343,80	651,64
<b>Promedio</b>	<b>18,74</b>	<b>14718,80</b>	<b>150089,99</b>	<b>798,22</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	2,30	2045,10	20854,26	207,29
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	12,30	13,89	13,89	25,97

### 9.3.6 Deformación unitaria

#### 9.3.6.1 Prismas de mampostería con concreto de relleno

**Tabla 9-21.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PMR.

<b>Espécimen</b>	<b>Deformación unitaria (<math>\epsilon_{mu}</math>)</b>	<b>%*f' m</b>
PMR1	0,002086	93,36
PMR2	0,002361	90,67
PMR3	0,002313	97,88
PMR5	0,002698	93,88
<b>Promedio</b>	<b>0,002365</b>	<b>93,95</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000219	2,58
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	9,24	2,75

**Tabla 9-22.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PSR.

<b>Espécimen</b>	<b>Deformación unitaria (<math>\epsilon_{mu}</math>)</b>	<b>%*f' m</b>
PSR1	0,003335	98,67
PSR2	0,003387	97,91
PSR3	0,003800	99,39
PSR4	0,002327	88,40
<b>Promedio</b>	<b>0,003213</b>	<b>96,09</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000542	4,47
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	16,87	4,65

**Tabla 9-23.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PNR.

<b>Espécimen</b>	<b>Deformación unitaria (<math>\epsilon_{mu}</math>)</b>	<b>%*f' m</b>
PNR1	0,003370	98,85
PNR2	0,004803	80,18
PNR3	0,003530	85,65
PNR4	0,003283	82,97
PNR5	0,001979	93,87
<b>Promedio</b>	<b>0,003393</b>	<b>88,31</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000896	6,98
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	26,42	7,91

### 9.3.6.2 Prismas de mampostería sin concreto de relleno

**Tabla 9-24.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PMS.

Espécimen	Deformación unitaria ( $\epsilon_{mu}$ )	%*f'm
PMS1	0,003687	95,78
PMS2	0,003818	97,62
PMS3	0,003611	94,16
PMS4	0,003099	97,29
PMS5	0,003973	99,29
<b>Promedio</b>	<b>0,003638</b>	<b>96,83</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000331	1,94
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	9,10	2,01

**Tabla 9-25.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PSS.

Espécimen	Deformación unitaria ( $\epsilon_{mu}$ )	%*f'm
PSS1	0,003111	99,46
PSS3	0,003523	92,37
PSS4	0,003886	84,74
PSS5	0,004095	92,98
<b>Promedio</b>	<b>0,003654</b>	<b>92,38</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000432	6,02
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	11,82	6,52

**Tabla 9-26.** Valores obtenidos de deformación unitaria para los especímenes de ensayo PNS.

Espécimen	Deformación unitaria ( $\epsilon_{mu}$ )	%*f'm
PNS1	0,003706	93,92
PNS2	0,004263	88,61
<b>Promedio</b>	<b>0,003984</b>	<b>91,27</b>
<b>Desviación estándar (S)</b>	0,000394	3,76
<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	9,88	4,12