

MONTAJE Y ELABORACIÓN DE ENSAYOS A COMPRESIÓN EN PRISMAS Y
COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE MAMPOSTERÍA.

PROYECTO EN LA MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



LADY CAROLINA IBARRA PERDOMO
JESUS DAVID PEÑA CAMPO

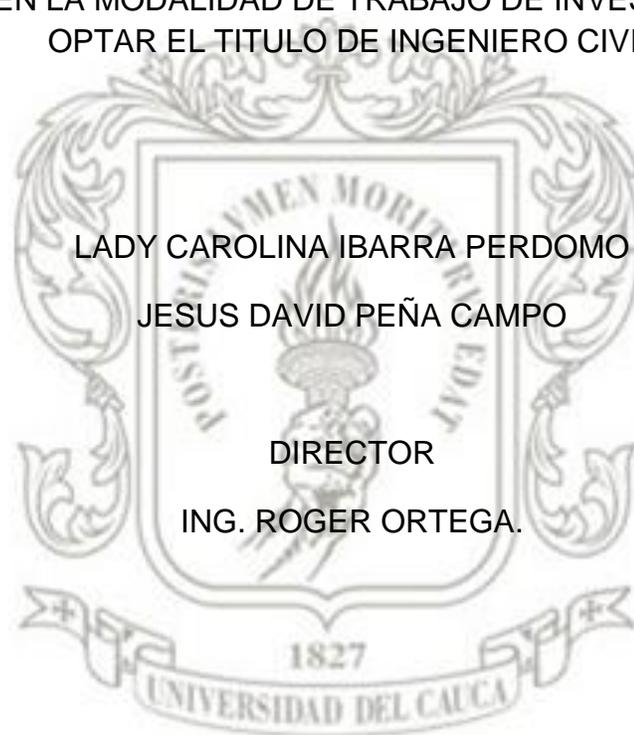
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

POPAYAN 2014



**MONTAJE Y ELABORACIÓN DE ENSAYOS A COMPRESIÓN EN PRISMAS Y
COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE MAMPOSTERÍA.**

PROYECTO EN LA MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



LADY CAROLINA IBARRA PERDOMO

JESUS DAVID PEÑA CAMPO

DIRECTOR

ING. ROGER ORTEGA.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

POPAYAN 2014



Nota de Aceptación



Jurado Ing. Carlos Ariel Hurtado

Director Ing. Roger Ortega

Popayán, Septiembre de 2014



"Nada espléndido ha sido creado jamás con sangre fría. Hace falta calor para forjar, y cada gran logro es el resultado de un corazón en llamas".

Arnold H. Glasgow



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios y a mi familia por darme la oportunidad y confianza de cursar esta carrera profesional; al Ing. Roger Ortega por su colaboración, apoyo y rectitud en el presente trabajo, a Jesús David Peña y demás personas que han formado parte de mi vida a lo largo de estos cinco años a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía.

Lady Carolina Ibarra R

*A Dios quien me concedió el don de la existencia,
A mis padres por llenar de motivos mi vida y así alcanzar las metas más elevadas,
Al Ing. Roger Ortega por ser el tutor que permitió culminar con éxito esta etapa académica,
A Lady Carolina Ibarra R. por ser quien hizo posible cristalizar este proyecto,
Y a cada persona que con su apoyo, esfuerzo y cooperación hizo parte esencial de este trabajo.*

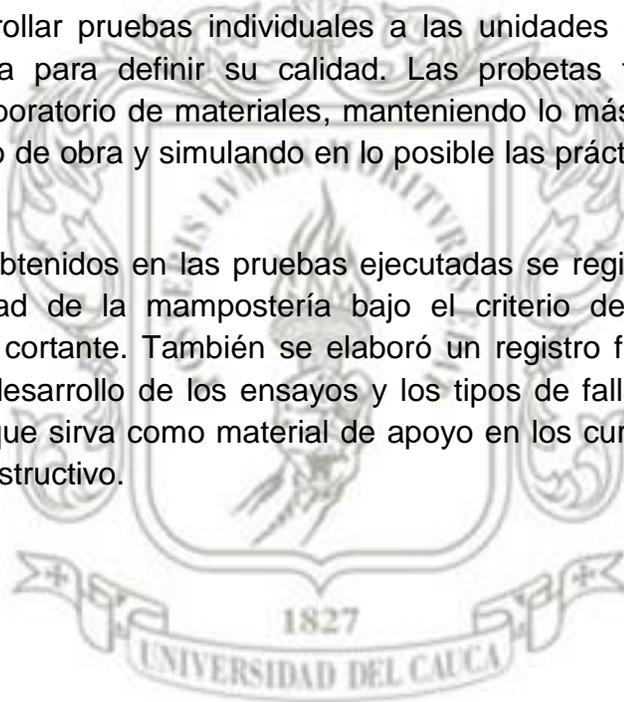
J. David Peña Campo



RESUMEN

En este trabajo se realizó el montaje de los ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes, elaborados con unidades de mampostería macizas, en las instalaciones del laboratorio de Estructuras de la Universidad del Cauca. Los ensayos se efectuaron sobre seis prismas conformados por 5 unidades de ladrillo para obtener la resistencia a la compresión de la mampostería ($f'm$) y el módulo de elasticidad (E_m), y en seis muretes de 0.60x0.60 metros para determinar la resistencia a la compresión diagonal (Cortante). El nombre del sector donde se producen las unidades en estudio se reserva con el propósito de no afectar con los resultados obtenidos las ladrilleras de esa zona. De igual forma fue necesario desarrollar pruebas individuales a las unidades de mampostería y al mortero de pega para definir su calidad. Las probetas fueron construidas y curadas en el laboratorio de materiales, manteniendo lo más constante posible la variable de mano de obra y simulando en lo posible las prácticas constructivas del medio.

Los resultados obtenidos en las pruebas ejecutadas se registran y analizan para evaluar la calidad de la mampostería bajo el criterio de su resistencia a la compresión y al cortante. También se elaboró un registro fotográfico y un video que compila el desarrollo de los ensayos y los tipos de falla presentados en las muestras, para que sirva como material de apoyo en los cursos relacionados con este sistema constructivo.



ABSTRACT

In this work was made the mounting of the compression simple test at prisms and diagonal compression tests at masonry walls, the specimens for testing were fabricated with solid masonry units at the structures laboratory of the Cauca's University. These tests were made on prisms built with five solid masonry units for obtaining the masonry compression resistance ($f'm$), elasticity modulus (E_m), and on six masonry walls of 0,6 by 0,6 meters, for determining the diagonal compression resistance (shear). The name of the place where masonry units are produced, is reserved for don't affect with the obtained results the brick industry in the studied zone. Also was necessary to make individual tests to masonry units and to mortar paste for defining their quality. The tests specimens were constructed and cured at Materials laboratory, keeping the same conditions at manpower and construction practices of the studied place.

The reached results at the tests are registered and analyzed for evaluating the masonry quality, having present the criterion of compression resistance and shear. At the same way was made a photographic recording and a video that shows the tests development and type of faults presented at the specimens tested, providing in this way the support material to courses related to this construction system.

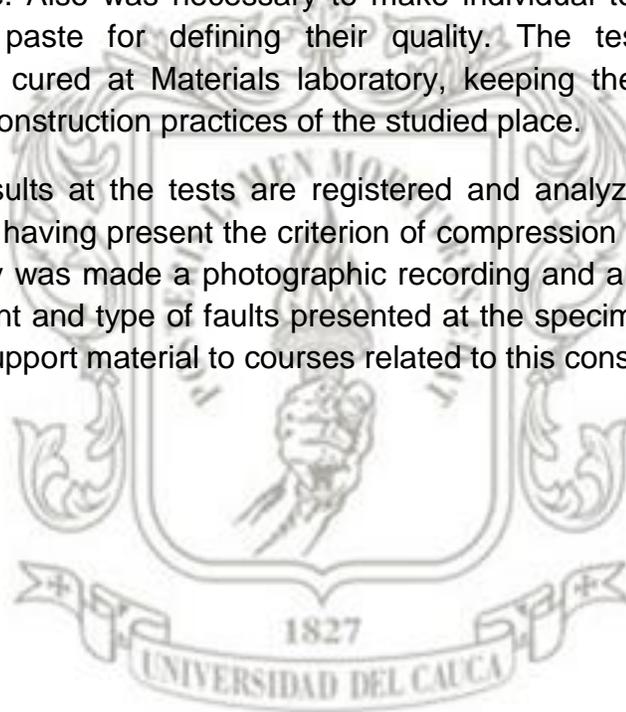


TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. MARCO TEÓRICO	15
3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	21
3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA.....	21
3.2 ELABORACIÓN DEL MORTERO DE PEGA.....	23
3.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE DISEÑO.....	23
3.2.1.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	24
3.2.1.2 ENSAYO DE FLUIDEZ	28
3.2.1.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	30
3.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE PEGA, SIMULANDO LAS CONDICIONES EN OBRA PARA ELABORACIÓN DE LOS PRISMAS.	35
3.2.2.2 ENSAYO DE FLUIDEZ	38
3.2.2.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN PRISMAS	40
3.2.3 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE PEGA SIMULANDO LAS CONDICIONES EN OBRA PARA ELABORACIÓN DE LOS MURETES	41
3.2.3.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	41
3.2.3.2 ENSAYO DE FLUIDEZ	43
3.2.3.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS PARA MURETES.....	44
3.3 CONSTRUCCIÓN DE PRISMAS.....	46
3.3.1 REFRENTADO DE PRISMAS	50
3.4 CONSTRUCCIÓN DE MURETES.....	53
3.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PRISMAS DE MAMPOSTERÍA	55
3.6 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA (<i>Em</i>)	64
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78

5. CONCLUSIONES.....	94
6. RECOMENDACIONES.....	97
7. BIBLIOGRAFIA.....	98
8. ANEXOS.....	99



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones de especímenes y resistencia a la compresión de las unidades de mampostería	22
Tabla 2 Clasificación de los morteros y dosificación en partes por volumen	24
Tabla 3 Cantidades de material por metro cúbico de mortero y resistencias probables obtenidas	25
Tabla 4 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez-Mortero de diseño	29
Tabla 5 Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega Edad 7 días	34
Tabla 6 Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega Edad 28 días.....	34
Tabla 7 Tipo de Muro y Dimensiones del ladrillo empleado.....	36
Tabla 8 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez- Mortero para prismas...	40
Tabla 9 Resistencia del mortero en Prismas- Edad 7 Días.....	41
Tabla 10 Resistencia del mortero en Prismas- Edad 28 Días	41
Tabla 11 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez –Mortero para muretes (bachada 1)	43
Tabla 12 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez –Mortero para muretes (bachada N°2).....	44
Tabla 13 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes- Edad 7 Días (Bachada N°2)	45
Tabla 14 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes- Edad 28 Días (Bachada N°1)	45
Tabla 15 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes- Edad 28 Días (Bachada N°2)	45
Tabla 16 Tolerancias constructivas para muros de mampostería- D.4.2-2 (NSR-10)	47
Tabla 17 Dimensiones prismas.....	58
Tabla 18 Carga Última, Deformación y Resistencia a la Compresión de la Mampostería.	58
Tabla 19 Relación de esbeltez y factor de corrección para prismas	59
Tabla 20 Módulo de Elasticidad de la mampostería.....	68
Tabla 21 Dimensiones muretes	73
Tabla 22 Datos obtenidos en laboratorio para muretes y esfuerzo cortante	74
Tabla 23 Carga Última, Deformación y resistencia a la compresión en muretes	74
Tabla 24 Resistencia mínima a la Compresión de la Unidad de Mampostería.....	78
Tabla 25 Resistencia del mortero de pega de diseño vs mortero de pega usado en prismas y muretes.....	79
Tabla 26 Valores típicos de fluidez y tipo de estructura en que se utilizan	81
Tabla 27 Resumen de valores de fluidez obtenidos para el mortero diseño y el utilizado en prismas y muretes.....	82
Tabla 28 Resumen de resistencia a la compresión obtenidas y especificadas de unidades de mampostería, morteros de pega y mampostería.....	83



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión de la mampostería	16
Figura 2 Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería	17
Figura 3 Fallas típicas de muretes de mampostería.....	18
Figura 4 Esquema Deformación Angular	20
Figura 5 Cubo de mortero.....	36
Figura 6 Dimensiones de la unidad de mampostería	38
Figura 7 Prisma tipo.....	38
Figura 8 Murete tipo.....	42
Figura 9 Altura – espesor del prisma	46
Figura 10 Combinación de esfuerzos cortantes y esfuerzos de compresión que presenta la falla por tensión diagonal en juntas.....	93

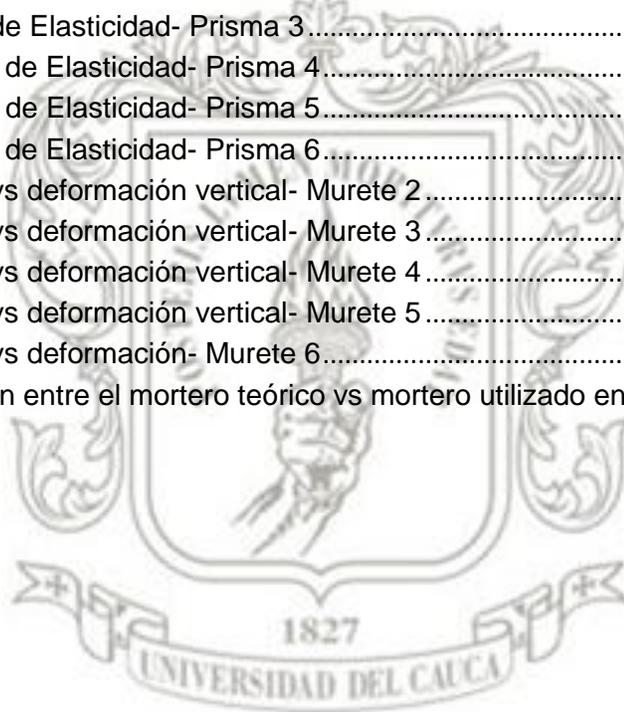


LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1 Secado de la arena	27
Foto 2 Tamizado de la Arena	27
Foto 3 Mezcladora y materiales.....	28
Foto 4 Forma de agregar materiales a la mezcladora	28
Foto 5 Llenado de los moldes	31
Foto 6 Enrase de los moldes.....	32
Foto 7 Cubos sumergidos en agua -cal saturada dentro del tanque de almacenamiento .	32
Foto 8 Cubo en la máquina a compresión para ser ensayado	33
Foto 9 Ladrillos tipo tolete.....	48
Foto 10 Humedecimiento de ladrillos.....	48
Foto 11 Humedecimiento ladrillos	49
Foto 12 Elaboración de prismas	49
Foto 13 Verificación de horizontalidad y verticalidad de los prismas.....	50
Foto 14 Prisma refrentado con yeso-Geofísica Ltda	51
Foto 15 Prismas antes de realizar refrentado.....	52
Foto 16 Nivelación del prisma en el proceso de refrentado	53
Foto 17 Prisma ubicado en la máquina universal	56
Foto 18 Calibración de anillo de carga	57
Foto 19 Calibración de la máquina con anillo de carga	57
Foto 20 Marco para el sostenimiento de los muretes y base de los deformímetros	70
Foto 21 Murete instalado en la máquina universal	71
Foto 22 Montaje de cámara web y deformímetro lateral	72
Foto 23 Falla Prisma 1	85
Foto 24 Falla Prisma 2	86
Foto 25 Falla Prisma 3	86
Foto 26 Falla Prisma 4	87
Foto 27 Falla Prisma 5	87
Foto 28 Falla Prisma 6	88
Foto 29 Falla Murete 1	89
Foto 30 Falla Murete 2	89
Foto 31 Falla Murete 3	90
Foto 32 Falla Murete 4	90
Foto 33 Falla Murete 5	91
Foto 34 Falla Murete 6	91

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Carga vs Deformación- Prisma 1	61
Gráfica 2 Carga vs Deformación- Prisma 2	62
Gráfica 3 Carga vs Deformación- Prisma 3	62
Gráfica 4 Carga vs Deformación- Prisma 4	63
Gráfica 5 Carga vs Deformación- Prisma 5	63
Gráfica 6 Carga vs Deformación- Prisma 6	64
Gráfica 7 Módulo de Elasticidad- Prisma 1	65
Gráfica 8 Módulo de Elasticidad- Prisma 2	66
Gráfica 9 Módulo de Elasticidad- Prisma 3	66
Gráfica 10 Módulo de Elasticidad- Prisma 4	67
Gráfica 11 Módulo de Elasticidad- Prisma 5	67
Gráfica 12 Módulo de Elasticidad- Prisma 6	68
Gráfica 13 Carga vs deformación vertical- Murete 2	75
Gráfica 14 Carga vs deformación vertical- Murete 3	76
Gráfica 15 Carga vs deformación vertical- Murete 4	76
Gráfica 16 Carga vs deformación vertical- Murete 5	77
Gráfica 17 Carga vs deformación- Murete 6	77
Gráfica 18 Relación entre el mortero teórico vs mortero utilizado en prismas y muretes ..	80



1. INTRODUCCIÓN

Definir parámetros que permitan cuantificar la resistencia a la compresión simple, y a la compresión diagonal en la mampostería, hace necesario recurrir a la formulación y aplicación de ensayos sobre muestras representativas de especímenes que estén sometidos a dichas fuerzas, por tal motivo, a lo largo de este trabajo de investigación se desarrollaron pruebas sobre muretes y prismas de mampostería.

Para realizar los ensayos propuestos de Compresión simple en prismas y compresión diagonal en muretes, fue indispensable realizar ensayos tanto al mortero de pega como a las unidades de mampostería o ladrillos, recurriendo al uso de las Normas Técnicas Colombianas (NTC); los estudios preliminares realizados fueron el de compresión simple en la unidad de mampostería, fluidez y resistencia del mortero en los prismas y en los muretes. Una vez definidas las propiedades del mortero de pega y del ladrillo se procedió a efectuar los ensayos mediante la aplicación de la fuerza axial que actúa perpendicular a la superficie del prisma y la fuerza cortante que actúa de forma diagonal al murete, con el fin de determinar la resistencia a ambos efectos en la mampostería seleccionada.

Finalizados los ensayos y procesados los resultados obtenidos se compararon los valores con lo establecido en la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) y con estudios afines realizados por otras universidades, con el fin de evaluar la calidad de la mampostería que se presenta en las construcciones en la ciudad de Popayán con mano de obra, insumos y materiales propios de la región.

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Materiales y Estructuras de la Universidad del Cauca, con una duración aproximada de doce meses entre el anteproyecto y el proyecto. Se contó con la colaboración del Ing. Humberto García en el montaje de laboratorio, el grupo de investigación GIMEC, la división de comunicaciones de la Universidad del Cauca, grupo de estudiantes de ingeniería automática y personal del laboratorio de la Universidad del Cauca.

2. MARCO TEÓRICO

UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Las unidades que se utilizan en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcareas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólida, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.

Las unidades macizas de mampostería (tolete) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1: mampostería de muros confinados, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden utilizar, combinadas con unidades de perforación vertical para mampostería parcialmente reforzada.

MORTERO DE PEGA

Es una mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua.

Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir con la norma NTC 3329 (ASTM C270) y con lo especificado en la Tabla D.3.4-1 de la NSR-10. Los morteros de pega deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y además garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.

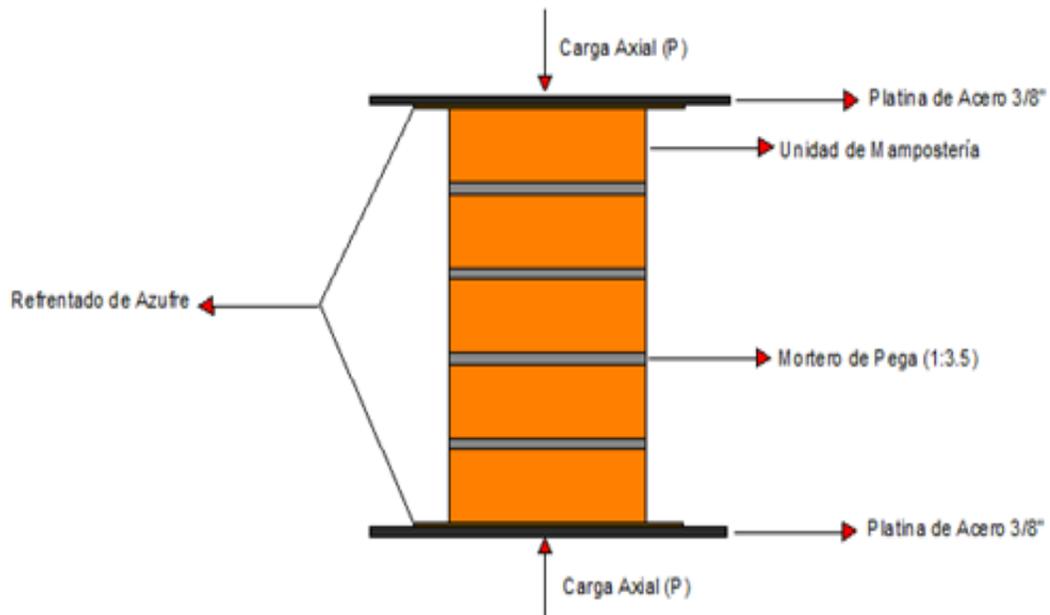
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (f'_m)

Los valores de f'_m se basan en la calidad de los materiales y solo se pueden utilizar en el diseño previo a la construcción y no para control de calidad. El valor especificado para la resistencia a la compresión de la mampostería f'_m , se debe determinar de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos especificados en la NSR-10, título D, Mampostería estructural:

- a. Por medio de registros históricos D.3.7.3.
- b. Por determinación experimental sobre muretes de prueba D.3.7.4.
- c. Basado en la calidad de los materiales D.3.7.5



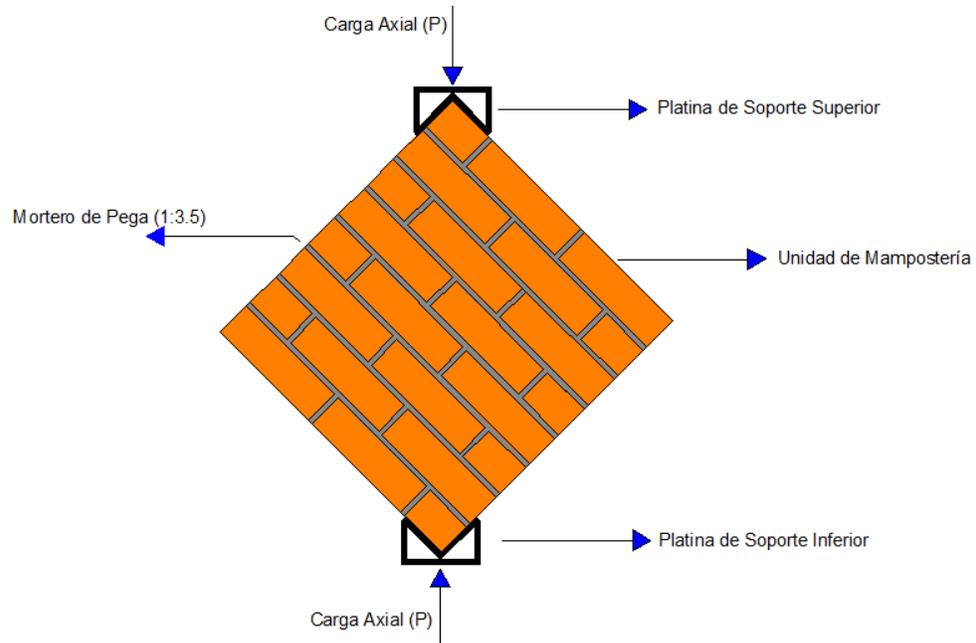
Figura 1 Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión de la mampostería



COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES (CORTANTE) ($V'm$)

Este ensayo mide la compresión diagonal o cortante de la mampostería con un buen grado de exactitud. La falla de un muro por efecto de fuerzas cortantes ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales, estas grietas ocurren habitualmente a lo largo de las juntas, sin embargo cuando hay buena adherencia del mortero con las piezas de ladrillo las grietas atraviesan estas indistintamente.

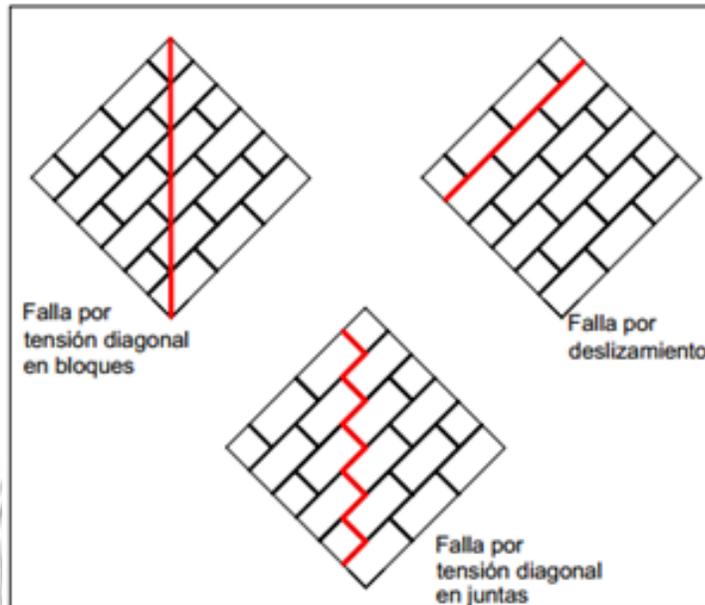
Figura 2 Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería



Las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal pueden ser de tres tipos:

1. Falla por tensión diagonal en bloques: se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta.
2. Falla por tensión diagonal en juntas: se produce por la falla por adherencia bloque-mortero, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete.
3. Falla por deslizamiento: se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal.

Figura 3 Fallas típicas de muretes de mampostería



Las variables que afectan la resistencia a compresión diagonal y el correspondiente módulo de cortante de la mampostería son el tipo de bloque, el tipo de mortero y la adherencia bloque-mortero.

MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA (E_m)

El valor para el módulo de elasticidad de la mampostería se debe establecer por medio de las gráficas esfuerzo-deformación obtenidas en el ensayo de compresión simple, como la pendiente de la secante entre los puntos $0.05f'm$ hasta $0.33f'm$.

Los registros históricos del módulo de elasticidad determinado experimentalmente para proyectos en construcción, pueden utilizarse en diseños posteriores de obras con materiales similares. En ausencia de los valores experimentales, puede emplearse:

$$E_m = 750f'm \leq 20000 \text{ MPa}$$

Siendo $f'm$ la resistencia a la compresión a los 28 días de un prisma fabricado y ensayado de acuerdo con la NTC 3495.

MÓDULO DE CORTANTE (G)

Para el módulo de cortante de la mampostería se puede tomar la ecuación descrita en la NSR-10 si no se tienen datos experimentales:

$$G = 0.4 E_m$$

En el caso de contar con datos experimentales obtenidos en el ensayo de compresión diagonal en muretes, se procede de la siguiente forma:

$$G = \frac{fv}{\gamma}$$

G: Módulo de rigidez en Mpa

fv: Esfuerzo cortante sobre el área neta en Mpa

γ: Deformación por cortante en mm/mm

En donde:

$$fv = \frac{0,707P}{A_n}$$

P: Carga aplicada a través de una diagonal, en N

A_n: Área neta del murete. Es el área promedio entre una sección vertical y una horizontal de las partes sólidas del murete en mm²

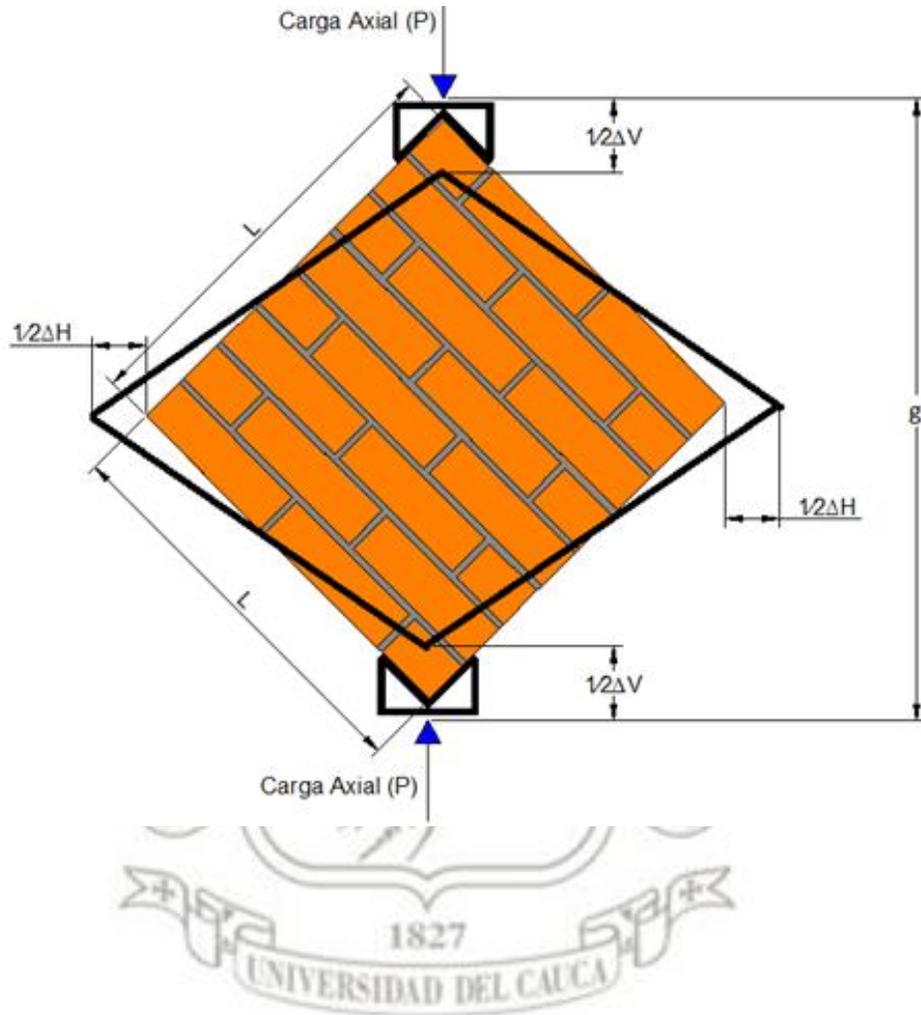
$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

ΔV: Acortamiento vertical sobre la diagonal cargada en mm

ΔH: Alargamiento horizontal sobre la diagonal no cargada en mm

g: Longitud inicial vertical en mm

Figura 4 Esquema Deformación Angular



3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Dado que el grupo de investigación GIMEC toma las unidades de mampostería para su estudio de los galpones de un sector de la ciudad de Popayán, del cual se reserva su nombre con el propósito de no afectar con los resultados obtenidos las ladrilleras de esa zona, se tomaron para la construcción de prismas y muretes ladrillos procedentes del mismo lugar.

Los estudios realizados por el grupo GIMEC permitieron obtener una mayor cantidad de datos a los encontrados en el presente trabajo, en lo referente a los ensayos de compresión realizados a las unidades de mampostería del sector de Popayán en estudio.

Para determinar la resistencia a la compresión del ladrillo, se siguió el proceso descrito en la norma NTC 4026 "Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural".

3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA

Para la realización de este ensayo se cortaron los ladrillos en dos mitades y se obtuvieron muestras de una longitud aproximadamente igual al ancho del ladrillo. Se debió igualar las caras de la muestra, de tal manera que quedaran planas y paralelas. Posterior a esto se secaron las muestras en el horno, a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, por un periodo de 24 horas. Una vez secas las muestras se procedieron a determinar las dimensiones de estas.

Se colocó el capping de azufre en las caras opuestas de cada muestra. Durante el proceso de colocación se debió tener en cuenta que las superficies opuestas estuvieran aproximadamente paralelas, y que el grosor de las capas fuera aproximadamente el mismo. Se dejaron endurecer las capas durante cuatro horas antes de ensayar las muestras en el laboratorio. Se colocó la muestra en la máquina de ensayo, y se cargó lentamente la máquina, hasta que el bloque superior tome contacto total con la superficie de la máquina, posterior a esto se hizo la aplicación de la carga a una velocidad moderada no inferior a 1 minuto ni superior a 2 minutos y registrando finalmente la carga máxima de rotura.

A continuación en la Tabla N°1 se indican los resultados obtenidos.



Tabla 1 Dimensiones de especímenes y resistencia a la compresión de las unidades de mampostería

LADRILLO	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Área (m ²)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia MPa	Resistencia Kg/cm ²
							f'cu	f'cu
1	11,3	11,1	125,43	0,0125	73,3	7474,40	5,96	59,59
2	11,1	11,2	124,32	0,0124	89,3	9105,92	7,33	73,25
3	11,3	11,3	127,69	0,0128	96,4	9829,91	7,70	76,98
4	11,1	11,0	122,1	0,0122	66,1	6740,22	5,52	55,20
5	9,1	11,3	102,83	0,0103	57,4	5853,08	5,69	56,92
6	11,7	11,5	134,55	0,0135	67,2	6852,38	5,09	50,93
7	9,7	11,1	107,67	0,0108	75,4	7688,54	7,14	71,41
8	10,5	9,9	103,95	0,0104	72,4	7382,63	7,10	71,02
9	11,4	11,4	129,96	0,013	67,3	6862,58	5,28	52,81
10	10,6	10,4	110,24	0,011	52,4	5343,23	4,85	48,47
11	11,7	11,2	131,04	0,0131	97,7	9962,47	7,6	76,03
12	10,7	8,6	92,02	0,0092	71,3	7270,46	7,9	79,01
13	11,2	9,6	107,52	0,0108	62,1	6332,34	5,89	58,89
14	11,3	11,1	125,43	0,0125	59,7	6087,61	4,85	48,53
					PROMEDIO		6.28	62.79
					DESVIACION ESTANDAR		1.13	11.29

1kn=101,97 kg

f'cu: resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, MPa.



3.2 ELABORACIÓN DEL MORTERO DE PEGA

En el proceso de diseño del mortero, se tuvo en cuenta lo establecido en la NSR-10, pero también se intentó simular las condiciones de cómo se prepara el mortero en las construcciones en el medio, por tal motivo se tomaron los valores máximos permitidos por la norma en cuanto a cantidad de arena se refiere para un mortero tipo S y así comprobar la resistencia a la compresión que alcanza el mortero individualmente y la mampostería en su conjunto; teniendo en cuenta que en gran parte de las obras no se controla de forma rigurosa las especificaciones de calidad.

Se realizó una mezcla de prueba con el fin de determinar una dosificación adecuada para el cemento, arena y agua con el propósito de elaborar un mortero que cumpliera con los valores de referencia tanto de fluidez y resistencia a la compresión.

Una vez conocida la dosificación apropiada para la obtención del mortero de pega tipo S (seleccionado para este trabajo), se procedió a replicar las mismas proporciones para la fabricación del mortero de pega requerido en la construcción de los prismas y muretes.

3.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE DISEÑO

Para encontrar la dosificación adecuada que produjera una fluidez de $110\pm 5\%$ y una resistencia a la compresión cercana a los 12,5 MPa se realizaron los ensayos de fluidez y resistencia a la compresión a los 7 y 28 días una vez elaborados los cubos de mortero.

La preparación de la mezcla se realizó teniendo en cuenta varios factores determinantes, como la humedad, calidad y procedencia de la arena, así como el tipo de cemento a emplear, se trataron de simular las condiciones en que se iba a realizar el mortero en obra, por lo que se dejó la arena con un grado de humedad similar al que se emplearía en la elaboración definitiva del mortero de pega de los muretes y prismas, cabe resaltar que este ensayo se realizó con anterioridad con el fin de conocer las proporciones con las cuales se debía preparar el mortero para la fabricación de los especímenes de prueba.

Para determinar la dosificación con la cual se elaboraría el mortero de pega se recurrió a la Tabla N°2 (D.3.4-1 de la NSR-10), en donde se establecen parámetros importantes a tener en cuenta en la dosificación del mortero.

Tabla 2 Clasificación de los morteros y dosificación en partes por volumen

Mortero Tipo	Especificación de los morteros por propiedad			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la compresión f'_{cp} MPa	Flujo en (%)	Retención mínima de agua (%)	Cemento Portland	Cal hidratada	Cemento para Mampostería	Arena/Material Cementante	
							Mín.	Máx.
H	22.5	115-125	75	1	0.25	No Aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75	1	0.25	No Aplica	2.25	3.0
				1	No Aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75	1	0.25 a 0.50	No Aplica	2.50	3.5
				0.5	No aplica	1	2.50	3.0
N	7.5	105-115	75	1	0.50 a 1.25	No Aplica	3.00	4.5
				0	No Aplica	1	3.00	4.5

3.2.1.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Para la elaboración del mortero, se debió dejar secar la arena, debido a que en el momento de su compra este agregado presentaba un alto porcentaje de humedad, lo cual influía de manera significativa en la correcta realización del ensayo de fluidez. Una vez la arena estuvo seca se procedió a pasarla a través del tamiz # 4, con el objetivo de separar material grueso presente en el agregado.

Debido a que el interés principal de este proyecto no está enfocado en el diseño riguroso del mortero de pega, se recurrió al texto Concreto Simple¹ para determinar la proporción que produjera una resistencia de 12,5 MPa. En la tabla que se referencia a continuación se encuentran las cantidades de material en volumen suelto por m³ para la proporción 1:3.5 escogida.

¹ Rivera López, G. Concreto Simple. Cauca.

Tabla 3 Cantidades de material por metro cúbico de mortero y resistencias probables obtenidas

Mezcla Proporción en Volumen C:F	Cemento		Agregado Fino (m ³)	Agua (L)	Rango de Resistencia Probable a la compresión 28 días	
	Kg	Sacos			Kg/cm ²	P.S.I
1:1	900	18	0.72	405	230-280	3300-4000
1:2	600	12	0.96	300	190-240	2700-3450
1:2.5	515	10.25	1.03	280	160-210	2300-3000
1:3	450	9	1.08	260	140-190	2000-2700
1:3.5	400	8	1.12	250	125-175	1800-2500
1:4	360	7.20	1.15	240	110-160	1600-2300
1:5	300	6	1.20	225	100-150	1500-2200
1:6	260	5.25	1.23	210	85-135	1200-1900
1:7	225	4.5	1.26	195	75-125	1100-1800
1:8	200	4	1.28	185	65-115	900-1600
1:9	180	3.75	1.30	175	55-100	800-1500
1:10	165	3.25	1.31	165	45-95	650-1350

Dado que en la mayoría de las obras de construcción se tiene poca vigilancia por parte de los entes encargados del cumplimiento de las normas vigentes, la forma más fácil y común de dosificar un mortero o concreto es por volumen, por tal motivo se decidió tomar la proporción que estuviera en el rango permitido por la NSR-10 y que encajara en la tabla anteriormente mencionada.

Para realizar la mezcla de mortero se utilizó el procedimiento según la norma I.N.V. E-321-07 *Mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica*.

EQUIPO

- Mezcladora
- Paleta mezcladora
- Recipiente de mezcla
- Raspador
- Balanzas
- Probetas graduadas

PROCEDIMIENTO

Debido a que se conocía la proporción de cemento y arena, pero se desconocía la relación Agua/Cemento, se realizó la mezcla mecánica del mortero asumiendo una relación A/C que produjera la fluidez deseada, aunque se sabe que la fluidez deseada no garantiza la resistencia a la compresión esperada, es por ello que en el primer ensayo, la relación A/C adoptada no produjo la fluidez que está en el rango de 110 ± 5 pero haciendo un segundo ensayo se determinó cual relación podría producir una fluidez en el rango anteriormente descrito.

Para el ensayo se necesitaron 220 g de cemento y 770 g de arena; relación de agua-cemento asumida (A/C) de 0.9.

Conocidas las cantidades de material a emplear, se colocó la mezcladora en posición de trabajo y se procedió a seguir lo expresado en la norma I.N.V. E-321-07.

Se encontró el agua de amasado y se depositó en el recipiente de mezcla.

$$\frac{A}{C} = 0.9 \rightarrow A = 0.9 * C = 0.9 * 220 = 198 \text{ cm}^3$$

Seguido de esto se agregó la cantidad de cemento al agua y se dejó en reposo durante 30 segundos para ser mezclado a baja velocidad (140 ± 5 rpm) por 30 segundos. Lentamente se adicionó la totalidad de la arena en un tiempo de 30 segundos, mientras la mezcladora funcionaba a baja velocidad. Se detuvo la mezcladora y se cambió a la velocidad rápida (285 ± 10 rpm) y se mezcló durante 30 segundos. Se volvió a detener la mezcladora durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este intervalo, se arrastró rápidamente hacia el fondo el mortero que se adhirió a las paredes. Para el resto del intervalo se tapó el recipiente. Finalmente se mezcló a velocidad rápida (285 ± 10 rpm) durante 60 segundos.

Foto 1 Secado de la arena

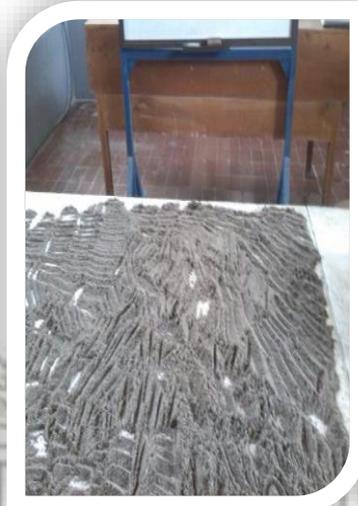


Foto 2 Tamizado de la Arena



Foto 3 Mezcladora y materiales



Foto 4 Forma de agregar materiales a la mezcladora



3.2.1.2 ENSAYO DE FLUIDEZ

Una vez se encontraron las proporciones de mezcla, se procedió a aplicar el ensayo de fluidez siguiendo la norma I.N.V. E – 325 – 07 *Fluidez de morteros de cemento hidráulico (mesa de flujo)*, para garantizar que estas proporciones suministraran una fluidez de $110\pm 5\%$ a la mezcla.

EQUIPO

- Mesa de flujo
- Molde con forma de tronco de cono recto
- Calibrador
- Compactador
- Palustre

PROCEDIMIENTO

Se limpió y se secó la plataforma de la mesa de flujo y se colocó el molde con forma de tronco de cono recto en el centro. Se procedió a colocar en el molde una capa del mortero de unos 25 mm (1") de espesor, y se apisonó con 20 golpes uniformemente distribuidos. Con una segunda capa de mortero, se llenó totalmente el molde y se apisonó como la primera capa. Se retiró el exceso de mortero de la capa superior y se enrasó la superficie con un palustre.

Después de un (1) minuto de terminada la operación de mezclado, se retiró el molde, levantándolo e inmediatamente se dejó caer la mesa de flujo desde una altura de 12.7 mm (½") 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra en cuatro puntos equidistantes y se calcula el diámetro promedio.

Tabla 4 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez-Mortero de diseño

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	216	215.8	3.30
2	212		
3	215		
4	220		

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - \text{Diámetro base inferior del molde}}{\text{Diámetro base inferior del molde}} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{215.8 - 101.6}{101.6} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = 112.4 \%$$



En este caso con la proporción 1:3.5 se obtuvo una fluidez de 112.4% que se encuentra en el rango de $110\pm 5\%$ por lo que tuvo una consistencia mediana (plástica) y se procedió a realizar los ensayos de compresión para conocer su resistencia.

3.2.1.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión se utilizó el procedimiento según la norma I.N.V. E-323-07 *Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico*.

EQUIPO

- Molde
- Compactador
- Palustre
- Máquina de ensayo para compresión

PROCEDIMIENTO

Se prepararon los moldes aplicando en sus caras inferiores y en las superficies de contacto de los elementos separables una capa delgada de aceite mineral. Luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos y se coloca el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite.

Las proporciones en volumen de materiales para el mortero fueron de una parte de cemento y 3.5 partes de arena fina y una relación de agua cemento de 0.9, los cuales producen una fluidez de 112.4% que se encuentra en el rango de $110\pm 5\%$.

Las cantidades que se mezclaron para formar la bachada de seis (6) cubos de ensayo fueron:

Cemento: 500g

Arena: 1750 g

Agua: 450 cm³

A/C: 0.9



Se preparó la mezcla siguiendo exactamente el mismo procedimiento que el numeral 3.2.1.1 pero con las nuevas cantidades de cada material.

Después de preparado el mortero, en un tiempo transcurrido no mayor de 2 minutos y 30 segundos después de terminada la mezcla, se inició el llenado de los compartimentos, colocando una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonaron con 32 golpes en 10 segundos aplicados sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenaron con una segunda capa y se procedió como en la primera. Al finalizar la compactación se enrasaron las caras superiores de los cubos y se retiró el mortero sobrante con el palustre.

Después de terminada la operación de llenado se almacenaron los moldes en un lugar seco y sin exposición al sol durante 55 horas. Pasado este tiempo se sacaron los cubos de mortero de los moldes y se sumergieron en agua -cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo.

Para cada edad se ensayaron 3 cubos a los 7 días y los otros 3 a los 28 días respectivamente. Se procedió a sacar del tanque de almacenamiento los 3 cubos que iban a ser ensayados a los 7 días, se secaron, limpiaron y se tomaron las medidas en las caras de los cubos y se ensayó cada cubo en la máquina de compresión inmediatamente.

Se suministró una carga al cubo en el rango de 900 N/segundo a 1800 N/segundo, la proporción del movimiento se obtiene durante la primera mitad de la carga máxima, como lo sugiere la norma I.N.V. E-323-07.

Foto 5 Llenado de los moldes



Foto 6 Enrase de los moldes



Foto 7 Cubos sumergidos en agua -cal saturada dentro del tanque de almacenamiento



Foto 8 Cubo en la máquina a compresión para ser ensayado



La resistencia a la compresión de cada cubo se calculó como la carga máxima o de rotura entre el área bruta del cubo de mortero.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

f_m: resistencia a la compresión en Mpa

P: carga máxima total en N

A: área de la superficie cargada en mm²

En las Tablas N°5 y N°6 se indica la resistencia especificada a la compresión del mortero de pega (f'cp) a los 7 y 28 días.

Tabla 5 Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega Edad 7 días

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
1	5.21	5.19	27.04	2704	15.5	15500	1580.55	5.73
2	5.16	5.08	26.21	2621	17.6	17600	1794.69	6.71
3	5.20	5.17	26.88	2688	17.2	17200	1753.90	6.40
							Promedio	6.28
							Desviación Estándar	0.50

Tabla 6 Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega Edad 28 días

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
4	5.11	5.02	25.65	2565	20.9	20900	2131.20	8.15
5	5.21	5.17	26.94	2694	22.4	22400	2284.15	8.32
6	5.12	5.14	26.32	2632	23.8	23800	2426.91	9.04
							Promedio	8.50
							Desviación Estándar	0.48

Si se observa el resultado de la resistencia a la compresión contenido en la tabla N°5 se puede dar cuenta que la resistencia de este mortero es inferior a la esperada para el mortero tipo S (12,5 MPa). Una posible causa de la obtención de este valor fue que se escogió el valor máximo del rango para la relación de arena establecido en la tabla D.3.4-1 (NSR-10 Título D), descrita anteriormente. Como se pudo observar en la tabla se requiere cemento Portland, cal y arena para tener una proporción establecida dentro del rango 1:2.5 y 1:3.5, para la realización de este proyecto no se empleó cal en la fabricación del mortero, todo esto con el fin de reproducir las condiciones de cómo se fabrican los morteros de pega en obras de construcción que se realizan en la ciudad.

Cabe aclarar que la norma no permite la utilización de mortero de pega tipo N para la construcción de mampostería estructural; sin embargo la resistencia especificada a la compresión del mortero de pega obtenida corresponde a la de un

mortero entre tipo N y S que seguramente es más representativo a las condiciones de obra en nuestro medio.

3.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE PEGA, SIMULANDO LAS CONDICIONES EN OBRA PARA ELABORACIÓN DE LOS PRISMAS.

Partiendo de las proporciones encontradas para fabricar el mortero de pega de diseño 3.2.1.1 se replicaron las mismas condiciones, pero esta vez para elaborar un volumen mayor al realizado en el ensayo anteriormente mencionado.

3.2.2.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

EQUIPO

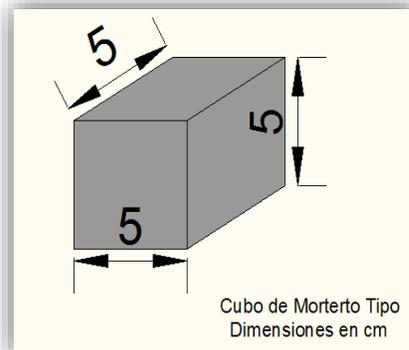
- Mezcladora con capacidad de un $\frac{1}{4}$ de bulto de cemento de 50 kg
- Balanzas
- Probeta graduada
- Palustre
- Baldes

PROCEDIMIENTO

Se realizó el extendido de la arena en las instalaciones del laboratorio de materiales, buscando con esto que el agregado fino perdiera agua y así adquiriera una humedad similar a la empleada en la fabricación del mortero de pega de diseño; una vez lograda la humedad deseada, se pasó la arena por el tamiz número 4 con el propósito de eliminar material grueso y partículas no deseadas. Luego de esto, se procedió a establecer las cantidades de agregado fino, cemento y agua a utilizar en la elaboración del mortero de pega, requerido en la fabricación de los prismas y muretes; teniendo en cuenta, la forma cómo se determinó la cantidad de material usado en la realización del mortero de pega de diseño.

De acuerdo a la norma INV-E-323-07 *Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico*, se emplearon 500 g de cemento y 1750 g de agregado fino (proporción 1:3.5), para elaborar los cubos de mortero que posteriormente se ensayaron a compresión; en el proceso de llenado de los moldes (Fotografía N°9), se obtuvieron 8 cubos de dimensiones 5x5x5 (cm), lo cual es equivalente a un volumen total de 0.001 m³ de mortero.

Figura 5 Cubo mortero



Volumen de 1 cubo $\rightarrow 5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm} = 125 \text{ cm}^3 = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Volumen de 8 cubos $\rightarrow 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 8 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

En el libro *Concreto Simple*¹, se encontraron expresiones que permitieron determinar la cantidad de mortero en m^3 por m^2 de muro y la cantidad de ladrillos a emplear por m^2 de muro; según el tipo de ladrillo empleado en la fabricación tanto de los prismas como de los muretes se tuvo la siguiente información.

Tabla 7 Tipo de Muro y Dimensiones del ladrillo empleado

Tipo de Muro	Largo (X) (cm)	Alto (Y) (cm)	Espesor (Z) (cm)
Soga	24	7	11

Dado que el espesor de las juntas tanto horizontales como verticales es una variable fija, se adoptó un grosor del mortero de pega de 1 cm.

Teniendo presente la anterior información y haciendo uso de las expresiones correspondientes, se calculó la cantidad de cada material para la elaboración del mortero de pega requerido en la fabricación de los primas.

→ Cantidad de ladrillos por m² = Cantidad horizontal x Cantidad vertical

Dónde:

Cantidad Horizontal



$$\frac{100 \text{ cm}}{\text{Largo} + \text{Espesor del Mortero}}$$

Cantidad Vertical



$$\frac{100 \text{ cm}}{\text{Alto} + \text{Espesor del Mortero}}$$

Con la información contenida en la Tabla N°7, se determinan las cantidades así:

Cantidad Horizontal



$$\frac{100 \text{ cm}}{24 + 1}$$

Cantidad Vertical



$$\frac{100 \text{ cm}}{7 + 1}$$

$$\text{Cantidad de ladrillos por m}^2 = \frac{100}{24+1} * \frac{100}{7+1}$$

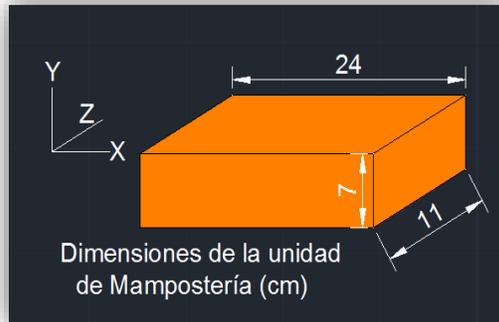
Cantidad de ladrillos por m² = 50 ladrillos

→ La cantidad de mortero m³/m² muro se calcula como sigue:

$$\text{Mortero m}^3/\text{m}^2 \text{ muro} = (100 * 100 - (x * y * \# \text{ de ladrillos}/\text{m}^2)) * \frac{z}{10^6}$$



Figura 6 Dimensiones de la unidad de mampostería



Las variables X, Y, Z corresponden a las dimensiones del ladrillo.

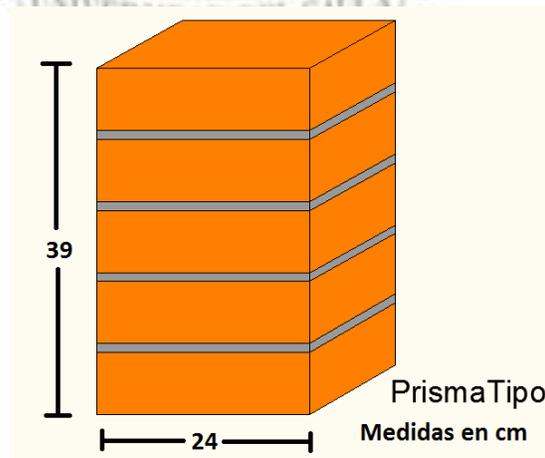
Por consiguiente, al reemplazar las dimensiones de la unidad de mampostería en la ecuación anterior se obtiene:

$$\text{Mortero } m^3/m^2 \text{ muro} = (100 * 100 - (24 * 7 * 50)) * \frac{11}{10^6}$$

Mortero m^3/m^2 muro = 0.02, esto quiere decir que por cada metro cuadrado de muro, se requieren $0.02 m^3$ de mortero.

Para determinar el área superficial de los prismas se procede de la siguiente manera:

Figura 7 Prisma tipo



$$\text{Área superficial de los 6 prismas} = 6 * (24 * 39) = 5616 \text{ cm}^2 = 0.56 \text{ m}^2$$

Con la información anterior se procedió a calcular la cantidad de mortero necesario para la pega de las unidades de mampostería que conforman cada uno de los prismas.

$$1 \text{ m}^2 \text{ muro} \rightarrow 0.02 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

$$0.56 \text{ m}^2 \text{ muro} \rightarrow x \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

Mortero a emplear = $11.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de mortero

Conociendo que para elaborar 0.001 m^3 de mortero se requieren 500 g de cemento y teniendo en cuenta que se requieren $11.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de mortero para fabricar los 6 prismas se encuentran las cantidades de cemento y arena a emplear.

$$500 \text{ g de cemento} \rightarrow 0.001 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

$$\text{Cantidad de cemento} \rightarrow 11.2 \times 10^{-3} \text{ de mortero}$$

Cantidad de cemento a emplear = $5600 \text{ g} = 5.6 \text{ kg}$

Cantidad de arena a emplear = $3.5 * 5.6 = 19.6 \text{ kg}$

Debido a que la relación de agua-cemento es 0.9, la cantidad de agua es de

$$\frac{A}{C} = 0.9 \rightarrow A = 0.9 * C = 0.9 * 5.6 = 5 \text{ litros}$$

Una vez conocidas las cantidades de materiales a emplear para fabricar el mortero se procedió a llevar dichos materiales a la mezcladora para obtener el producto final.

3.2.2.2 ENSAYO DE FLUIDEZ

Para comprobar la fluidez del mortero se procedió a elaborar el ensayo según el numeral 3.2.1.2.

Tabla 8 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez- Mortero para prismas

MUESTRA	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
1	206	208.5	2.65
2	209		
3	207		
4	212		

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - \text{Diámetro base inferior del molde}}{\text{Diámetro base inferior del molde}} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{208.5 - 101.6}{101.6} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = 105.2 \%$$

3.2.2.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN PRISMAS

Se tomó una muestra representativa de la mezcla de mortero de pega que fue utilizada para la elaboración de los prismas, y se procedió a ensayar los cubos según la norma I.N.V. E-323-07.

La resistencia a la compresión de cada cubo se calculó como la carga máxima o de rotura entre el área bruta del cubo de mortero.

$$f'_{cp} = \frac{P}{A}$$

f'_{cp} : resistencia a la compresion en Mpa

P : carga máxima total en N

A : área de la superficie cargada en mm²

Tabla 9 Resistencia del mortero en Prismas- Edad 7 Días

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
1	5.28	5.37	28.35	2835	11.8	11800	1203.26	4.16
2	5.17	5.23	27.04	2704	12.2	12200	1244.05	4.51
3	5.11	5.17	26.42	2642	11.3	11300	1152.27	4.28
							Promedio	4.32
							Desviación Estándar	0.18

Tabla 10 Resistencia del mortero en Prismas- Edad 28 Días

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
4	5.20	5.34	27.77	2777	20.4	20400	2080.21	7.35
5	5.12	5.25	26.88	2688	22.2	22200	2263.76	8.26
6	5.24	5.18	27.14	2714	21.8	21800	2222.97	8.03
							Promedio	7.88
							Desviación Estándar	0.47

3.2.3 PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DEL MORTERO DE PEGA SIMULANDO LAS CONDICIONES EN OBRA PARA ELABORACIÓN DE LOS MURETES

Partiendo de las proporciones encontradas para fabricar el mortero de pega de diseño 3.2.1.1 se replicaron las mismas condiciones, pero esta vez para elaborar un volumen mayor al realizado en el ensayo anteriormente mencionado.

3.2.3.1 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

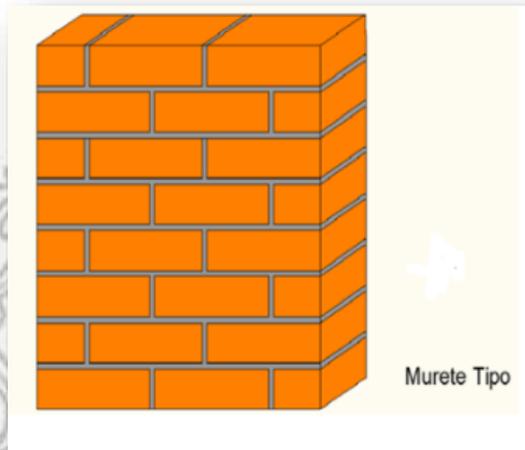
EQUIPO

- Mezcladora con capacidad de un ¼ de bulto de cemento de 50 kg
- Balanzas
- Probeta graduada
- Palustre

PROCEDIMIENTO

Para determinar la cantidad de mortero a emplear en la fabricación de los muretes se siguieron los mismos pasos descritos en 3.2.2.1, teniendo en cuenta que el área superficial de los muretes se calculó de la siguiente forma:

Figura 8 Murete tipo



$$\text{Área de los 6 muretes} = 6 \cdot (60 \cdot 60) = 21600 \text{ cm}^2 = 2.16 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m}^2 \text{ muro} \rightarrow 0.02 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

$$2.16 \text{ m}^2 \text{ muro} \rightarrow x \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

$$\text{Mortero a emplear} = 0.0432 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

Partiendo que para elaborar 0.001 m^3 de mortero se requieren 500 g de cemento y teniendo en cuenta que se requieren 0.0432 m^3 de mortero para fabricar los 6 muretes se encuentran las cantidades de cemento y arena a emplear.

$$500 \text{ g de cemento} \rightarrow 0.001 \text{ m}^3 \text{ de mortero}$$

$$\text{Cantidad de cemento} \rightarrow 0.0432 \text{ de mortero}$$

$$\text{Cantidad de cemento a emplear} = 21600 \text{ g} = 21.6 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de arena a emplear} = 3.5 \cdot 21.6 = 75.6 \text{ kg}$$

Debido a que la relación de agua-cemento es 0.9, la cantidad de agua es de

$$\frac{A}{C} = 0.9 \rightarrow A = 0.9 * C = 0.9 * 21.6 = 19.44 \text{ litros}$$

Una vez conocidas las cantidades de materiales a emplear para fabricar el mortero se procedió a llevar dichos materiales a la mezcladora y así obtener el producto final.

Como la mezcladora no tenía la capacidad suficiente para realizar la mezcla en una sola bachada, se procedió a realizarla en dos partes iguales. Se tomaron muestras para el respectivo análisis de estas.

3.2.3.2 ENSAYO DE FLUIDEZ

Para comprobar la fluidez del mortero se procedió a elaborar el ensayo según el numeral 3.2.1.2.

BACHADA N° 1

Tabla 11 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez –Mortero para muretes (bachada 1)

MUESTRA	DIÁMETRO (mm)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
1	220	216.5	3.42
2	216		
3	218		
4	212		

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - \text{Diámetro base inferior del molde}}{\text{Diámetro base inferior del molde}} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{216.5 - 101.6}{101.6} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = 113.1 \%$$

BACHADA N° 2

Tabla 12 Diámetros de la muestra después del ensayo de fluidez –Mortero para muretes (bachada N°2)

MUESTRA	DIÁMETRO (mm)	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
1	214	214.5	2.64
2	217		
3	211		
4	216		

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diametro promedio} - \text{Diametro base inferior del molde}}{\text{Diametro base inferior del molde}} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{214.5 - 101.6}{101.6} * 100$$

$$\% \text{ Fluidez} = 111,12\%$$

3.2.3.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS PARA MURETES

Se tomó una muestra representativa de la mezcla de mortero de pega que fue utilizada para la elaboración de los muretes, y se procedió a ensayar los cubos según la norma I.N.V. E-323-07.

La resistencia a la compresión de cada cubo se calculó como la carga máxima o de rotura entre el área bruta del cubo de mortero.

$$f_{cp} = \frac{P}{A}$$

f_{cp}: resistencia a la compresion en Mpa

P: carga maxima total en N

A: área de la superficie cargada en mm²

BACHADA N° 2

Tabla 13 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes-
Edad 7 Días (Bachada N°2)

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
1	5.11	5.06	25.86	2586	14	14000	1427.60	5.41
2	5.14	5.08	26.11	2611	13.4	13400	1366.41	5.13
3	5.02	5.01	25.1	2515	14.4	14400	1468.38	5.73
							Promedio	5.42
							Desviación Estándar	0.30

BACHADA N°1

Tabla 14 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes-
Edad 28 Días (Bachada N°1)

Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
4	5.22	5.24	27.35	2735	25.2	25200	2569.67	9.21
5	5.02	5.37	26.96	2696	23.4	23400	2386.12	8.68
6	5.12	5.41	27.70	2770	23.3	23300	2375.93	8.41
							Promedio	8.77
							Desviación Estándar	0.41

Tabla 15 Resistencia a la compresión del Mortero de Pega usado en Muretes-
Edad 28 Días (Bachada N°2)

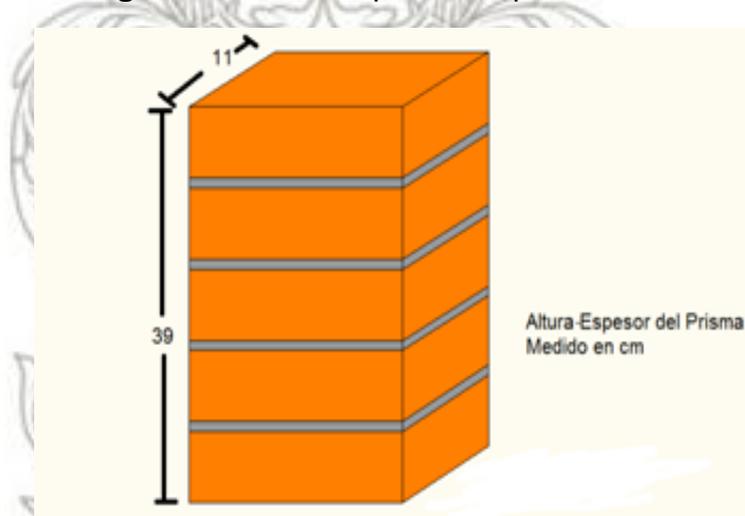
Cubo	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	Carga (Kg)	f'cp (MPa)
4	5.24	5.11	26.78	2678	25,1	25100	2559,47	9,37
5	5.30	5.04	26.71	2671	27,1	27100	2763,42	10,15
6	5.18	5.24	27.14	2714	26,8	26800	2732,83	9,87
							Promedio	9.80
							Desviación Estándar	0.39

3.3 CONSTRUCCIÓN DE PRISMAS

Se elaboraron seis (6) prismas, constituidos por 5 unidades de ladrillo, pegadas con mortero por su cara superior.

Teniendo en cuenta que la relación altura/espesor del prisma debe estar entre 1.3 y 5, se optó por emplear la cantidad de unidades de ladrillo anteriormente mencionada, obteniendo de esta manera, una relación altura/espesor de 3.55, cumpliendo de esta forma lo exigido por la norma.

Figura 9 Altura – espesor del prisma



Previo a la construcción de los prismas, se humedecieron las unidades de mampostería durante un tiempo prudencial hasta lograr un grado de saturación similar al que se maneja comúnmente en las obras de construcción de nuestro medio; esta condición evita que el ladrillo absorba agua al mortero de pega. El primer ladrillo se coloca sobre una superficie lisa y plana, verificando con el nivel de burbuja su horizontalidad. Con el palustre se extiende una capa de mortero de espesor de 10 mm (3/8 de pulgada) con una tolerancia de +/- 4mm, según la tabla D4.2-2 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).

Tabla 16 Tolerancias constructivas para muros de mampostería- D.4.2-2 (NSR-10)

Elemento	Tolerancia
1.Dimensiones de elementos(sección o elevación)	-6mm+12.5mm
2.Junta de mortero (10mm)	-4mm+4mm
3.Cavidad o celda de inyección	-6mm+9mm
4.Variación del nivel de junta horizontal Máximo	+/-2mm/metro (1/500) +/-12.5mm
5.Variación de la superficie de apoyo (cara superior del muro) Máximo	+/-2mm/metro (1/500) +/-12mm
6.Variación del plomo del muro Máximo	+/-2mm/metro (1/500) +/-12mm
7.Variación del alineamiento longitudinal Máximo	+/-2mm/metro (1/500) +/-12mm
8.Tolerancia de elementos en planta Máximo	+/-2mm/metro (1/500) +/-20mm
9.Tolerancia de elementos en elevación Máximo	+/-6mm/piso +/-20mm

Luego se colocó la siguiente unidad sobre el mortero extendido, ejerciendo una leve presión para acomodar el ladrillo y conseguir el espesor de junta de 10mm. Se verificó la horizontalidad con el nivel de burbuja ubicándolo en la parte superior de la unidad y la verticalidad del prisma ubicando el nivel en las superficies laterales.

Al finalizar la hilada se eliminó el mortero sobrante de las juntas y se limpió el prisma, el proceso de pega se repite hasta lograr una altura de 39 cm. A continuación se presentan fotografías del proceso descrito anteriormente para los seis prismas.

Una vez construidos los prismas, se mantuvieron en el laboratorio de materiales, tratando de controlar la humedad de los especímenes para permitir un correcto curado, hasta el día en que fueron transportados para la ejecución del ensayo. Cabe resaltar que para todos los prismas se intentó conservar el factor mano de obra lo más constante posible.

Foto 9 Ladrillos tipo tolete



Foto 10 Humedecimiento de ladrillos



Foto 11 Humedecimiento ladrillos



Foto 12 Elaboración de prismas

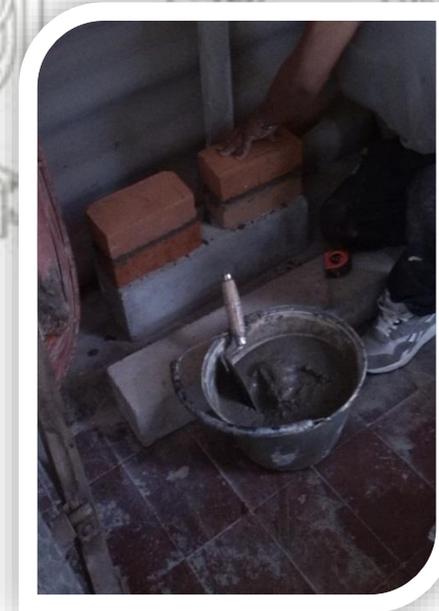


Foto 13 Verificación de horizontalidad y verticalidad de los prismas



3.3.1 REFRENTADO DE PRISMAS

Antes de iniciar el proceso de refrentado fue necesario enzunchar los prismas, esto con el objetivo de facilitar su movilidad del laboratorio de materiales hasta el laboratorio de estructuras y evitar de esta forma un posible deterioro en las juntas. El enzunchado del prisma permitió controlar su desintegración total en el momento de la falla en el ensayo de compresión simple.

Se estudiaron diversas posibilidades para realizar el refrentado de los prismas, una de las opciones que se tenía era limar la superficie de los ladrillos para eliminar cualquier protuberancia que tuviesen y de esa manera permitir una distribución uniforme de la carga sobre el prisma; otra forma de conseguir una superficie lisa era usar una banda de neopreno sobre las superficies del prisma, pero debido a la dificultad para determinar la dureza óptima del neopreno que no interfiriera con la distribución uniforme de la carga sobre el prisma, se descartó esta opción.

El yeso fue también una alternativa para realizar el refrentado de los prismas, debido a que en el Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos de Geofísica Ltda., han obtenido experiencia en este ensayo y actualmente realizan las pruebas con este tipo de material.

Foto 14 Prisma refrentado con yeso-Geofísica Ltda



El mencionado laboratorio permitió a los estudiantes Lady Carolina Ibarra Perdomo y Jesús David Peña Campo, efectuar una visita a este lugar, con el propósito de resolver inquietudes y hacer mejoras si fuere necesario, en el proceso de ensayo de los prismas. Por facilidad del proceso y debido a la disponibilidad de recursos del laboratorio de materiales, se optó por usar el azufre como elemento a emplear para obtener una superficie uniforme y lisa, siguiendo las recomendaciones que se incluyen en la norma NTC 3495 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería*.

Equipo

- Estufa
- Nivel
- Azufre en polvo
- Platina de acero
- Guías de acero
- Lubricante
- Tapabocas y bata de laboratorio
- Recipiente para depositar y derretir el azufre
- Cucharón

PROCEDIMIENTO

Se inició el proceso del refrentado con la colocación del azufre en un recipiente que posteriormente se colocó sobre la estufa, esto con el fin de lograr que el azufre en estado sólido pase a estado líquido por medio de la aplicación de calor, mientras ocurre este cambio, se debió contar con una platina que permitiera tener una superficie uniforme y lo más lisa posible, la platina debió estar cubierta con lubricante para evitar que el azufre líquido se pegara sobre esta; se colocaron las guías para dimensionar tanto el ancho, largo y espesor de la capa de refrentado.

Una vez el azufre estuvo en estado líquido, con ayuda de un cucharón se transporta cierta cantidad de azufre y se procede a colocarlo sobre la platina, inmediatamente realizada esta acción se ubica sobre la capa de azufre una de las caras del prisma, seguidamente se coloca el nivel para garantizar la horizontalidad del refrentado que se está llevando a cabo, se debió mantener el prisma sujetado por un tiempo aproximado de 2 minutos, hasta que el azufre se endurezca y forme la capa sobre la superficie del ladrillo.

Foto 15 Prismas antes de realizar refrentado



Foto 16 Nivelación del prisma en el proceso de refrentado



Es recomendable realizar el refrentado por cada cara del prisma que va a estar en contacto con la instrumentación encargada de la aplicación de la carga.

Este proceso requiere de protección, en lo cual se incluye: guantes, tapabocas, bata de laboratorio y gafas de protección, debido a los gases que se producen en el cambio de estado del azufre.

3.4 CONSTRUCCIÓN DE MURETES

Se elaboraron seis (6) muretes de dimensiones de 60 cm por 60cm, con el mismo tipo de mortero empleado en la elaboración de los prismas. De acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 4925, el murete debió tener dimensiones de 1.2 m por 1.2 m, pero dado, que la máquina universal en la que se van a ensayar los especímenes, no tiene la capacidad para dicho tamaño, los muretes se fabricaron con las dimensiones anteriormente mencionadas.

Antes de iniciarse la construcción de los muretes, se humedecieron las unidades de mampostería siguiendo el mismo procedimiento descrito para los prismas en el numeral 3.3. El murete estuvo compuesto por 8 hiladas, ya que la altura de cada ladrillo fue alrededor de 7 cm y el espesor del mortero de pega fue de aproximadamente de un (1) centímetro teniendo en cuenta las tolerancias permitidas por las normas.

Se debió lograr un buen entramado, para lo cual se colocaron dos unidades de mampostería sin fraccionar en la primera hilada y una fraccionada para lograr la longitud previamente establecida y se esparció el mortero de pega sobre la parte superior de los ladrillos, seguido de esto se colocó la segunda hilada teniendo en cuenta que las juntas verticales no coincidan con las de la primera, creando de esta manera la trabazón entre ellas.

Observaciones:

Para la construcción de los muretes y prismas se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. La dosificación utilizada en la elaboración del mortero de pega fue 1:3.5 con una relación de agua-cemento (A/C) de 0.9.
2. La elaboración de los muretes y prismas se realizó en las instalaciones del laboratorio de materiales con personal de mano de obra calificada, externo a la Universidad.
3. Para mantener en lo posible las mismas condiciones de elaboración tanto de los prismas como de los muretes, estos se armaron el mismo día, para lograr tener las variables de mano de obra, dosificación, y condiciones ambientales lo más constante posibles, las cuales se muestran a continuación:

Temperatura ambiente del laboratorio: 24 °C

Humedad relativa de los muretes: 68 %

Humedad relativa de los prismas: 62 %

4. Se realizaron ensayos a los 7 y 28 días para conocer la resistencia a la compresión del mortero de pega utilizado en la fabricación tanto de prismas como de muretes.
5. Una vez realizados los muretes, se evitó moverlos del lugar en donde se construyeron, por lo menos durante los primeros siete (7) días. Debe almacenarse los especímenes en un ambiente de laboratorio durante 28 días, tiempo en el cual se debe garantizar una temperatura de 24 °C +/- 8 °C, con humedades relativas entre 25 % y 75 % y debe estar libre de corrientes de aire. Todos estos aspectos se deben tener en cuenta para permitir un correcto curado de los muretes.

6. Luego del curado se transportaron cuidadosamente los prismas y muretes al laboratorio de estructuras para las pruebas de carga respectivas.

3.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PRISMAS DE MAMPOSTERÍA

Los ensayos se realizaron teniendo en cuenta la norma NTC 3495 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería*:

EQUIPO Y ELEMENTOS VARIOS

Se debió tener a disposición los siguientes elementos:

- Deformímetros
- Flexómetro
- Nivel de mano
- Cronómetro
- Máquina Universal
- Cámara(s) fotográfica o de video
- Elementos para registro y procesamiento de la información

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Se midió la longitud del prisma en el centro y en los cuartos del centro del prisma con una aproximación de 1mm y de estas dimensiones se tomó el promedio, de igual forma se hizo con las dimensiones de espesor y alto.

Se colocó el prisma de forma vertical en la máquina universal sobre el plato de carga inferior y debajo del plato de carga superior, donde se garantizó que tanto el plato superior como el inferior de la máquina estuvieran completamente limpios. Se debió instalar un deformímetro para la medición de la deformación vertical.

Foto 17 Prisma ubicado en la máquina universal



La toma de los datos correspondientes a la carga aplicada sobre el prisma, así como la deformación vertical ocasionada por esta, se efectuó empleando el programa realizado por los estudiantes de Ingeniería en Automática Industrial Martha Natalia Agredo Albán y Julián Armando Quintana Núñez, quienes realizaron la sistematización de la máquina usada en el laboratorio de estructuras de la Universidad del Cauca, permitiendo de esta manera obtener directamente las gráficas Esfuerzo vs Deformación correspondientes, en archivos con extensión .xlsx (Archivos en Microsoft Excel).

La aplicación de la carga se realizó a una velocidad conveniente hasta la mitad de la carga máxima esperada y luego se aplicó la carga a una velocidad uniforme hasta lograr la falla en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos. Se calibró la máquina Universal con un anillo de carga antes de realizar las pruebas con el fin de comprobar la veracidad de los datos obtenidos por esta.

Foto 18 Calibración de anillo de carga



Foto 19 Calibración de la máquina con anillo de carga



El formato para la toma de datos se registró de acuerdo al Anexo A. Se muestra a continuación la tabla con los datos obtenidos en el laboratorio.

DATOS DE LOS PRISMAS

Tabla 17 Dimensiones prismas

PRISMA	ALTURA (h)				LARGO (l)				ESPESOR (e)			
	h1	h2	h3	h _{prom}	l1	l2	l3	L _{prom}	e1	e2	e3	e _{prom}
1	37,2	36,8	36,8	36,9	22,8	22,8	22,6	22,7	11,4	11,4	11,4	11,4
2	36,8	36,8	37,4	37	22,2	23	22,2	22,5	11,2	11,2	11,4	11,3
3	35,8	35,8	35,4	35,7	22,6	22,4	22,6	22,5	11,4	11,4	11,2	11,3
4	36	36	35,8	35,9	22,8	22,4	22,4	22,5	11,8	11,6	11,6	11,7
5	36,4	36,2	36,4	36,3	22,8	22,4	22,6	22,6	11,6	11,6	11,4	11,5
6	36	35,8	35,8	35,9	22,6	22,6	22,8	22,7	11,2	11,4	11,2	11,3

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Tabla 18 Carga Última, Deformación y Resistencia a la Compresión de la Mampostería

PRISMA	AREA (cm ²)	Pu (KN)	Pu (Kg)	DEFORMACION VERTICAL(mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION f _m (MPa)	FACTOR DE CORRECCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION (corregida) f _m MPa	f _m (Promediox0.75) Ver nota ²
1	258,78	95,2854	9528,5412	7,60	3,7	1,09	4,0	2,8
2	254,25	84,9771	8497,7108	8,63	3,3	1,09	3,6	
3	254,25	88,6677	8866,7735	7,07	3,5	1,08	3,8	
4	263,25	78,1049	7810,4905	6,93	3,0	1,08	3,2	
5	259,9	85,1044	8510,4371	5,54	3,3	1,08	3,6	
6	256,51	94,9036	9490,3623	11,86	3,7	1,08	4,0	
				PROMEDIO	3,4		3,7	
DESVIACION ESTANDAR							0,3	

² Nota: Procedimiento descrito en la página 59

Se calculó la relación de esbeltez del prisma, es decir, la relación entre altura y el espesor (am/em) para encontrar el factor de corrección de acuerdo con la tabla N ° 19, dado que los datos obtenidos se encontraron entre los rangos establecidos en la tabla, se hizo una interpolación lineal y finalmente se multiplicó la resistencia a la compresión de cada prisma por este.

Tabla 19 Relación de esbeltez y factor de corrección para prismas

am/em	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0.75	0,86	1,0	1,04	1,07	1,15	1,22

La resistencia especificada a la compresión de la mampostería ($f'm$) se obtuvo de dividir la carga última obtenida por el área neta de la mampostería que tiene cada prisma ensayado.

$$f'm = \frac{P}{A}$$

$f'm$: especificada a la compresión de la mampostería

P : Carga vertical máxima aplicada

A : Área neta transversal antes de la aplicación de la carga

Teniendo en cuenta que el valor promedio obtenido de manera experimental de la resistencia de la mampostería a la compresión ($f'm$) en prismas fue:

$$f'm = 3,7 \text{ MPa}$$

Y de acuerdo a lo expresado en el título D, de la Norma Sismo Resistente (NSR 2010) en el numeral D.3.7.2.2, el cual dice lo siguiente “El valor de $f'm$, para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de 3 muretes (prismas) de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125 por ciento del menor valor obtenido de los ensayos”, el valor de $f'm$ cumple con esta condición, ya que el valor mínimo de $f'm$ fue de 3,2 MPa, y se tiene entonces:

$$3,7 \text{ MPa} < 1,25(3,2 \text{ MPa})$$

$$3,7 \text{ MPa} < 4 \text{ MPa}$$

Por lo anterior se cumple entonces con lo dispuesto por la norma y se garantizó que los datos obtenidos tienen validez.



Ahora bien, de acuerdo al numeral D.3.7.4, el cual trata de la determinación experimental de f'_m , se tiene que según la cantidad de especímenes de mampostería probados (6 ensayos) el valor de f'_m corresponde al 75% del valor promedio de los ensayos realizados, entonces:

$$f'_m = 3,7 \text{ MPa}$$

$$f'_m = (0,75) \times (3,7 \text{ MPa})$$

$$\mathbf{f'_m = 2,8 \text{ MPa}}$$

Otra forma de determinar el valor de f'_m es usando la expresión consignada en el numeral D.3.7.5 de la NSR 2010, en donde a partir de la calidad de los materiales usados en la construcción de los prismas, se puede determinar la resistencia a la compresión de la mampostería así:

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50K_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8f'_{cu} \quad (D.3.7 - 1)$$

Dónde:

R_m = Parametro definido por medio de la ecuación

h = altura de la unidad de mampostería

f'_{cu} = Resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería
medida sobre área neta, MPa

K_p = Factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional

f'_{cp} = Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa

Reemplazando en la ecuación D.3.7-1 los valores obtenidos en los ensayos realizados y de acuerdo a la NSR 2010 se obtiene:

$$h = 70 \text{ mm}$$

$$f'_{cu} = 6.28 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{ver numeral 3.1})$$

$$K_p = 0,8 \Rightarrow \text{Para unidades de arcilla o sílico - calcáreas}$$

$$f'_{cp} = 7.88 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Mortero de pega usado en prismas})$$



$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) * 6.28 + \left(\frac{50 * 0,8}{75 + 3h} \right) * 7.88 \leq 0.8 * 6.28$$

$$R_m = 4,20 \leq 5.02$$

Entonces $f'm$ es igual a:

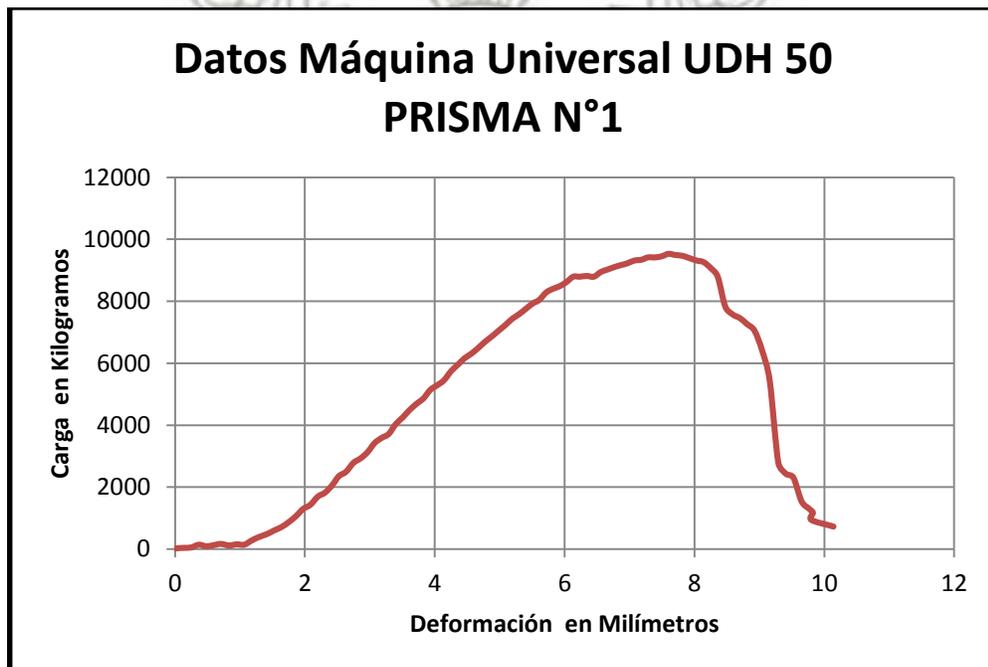
$$f'm = 0.75 R_m \quad \text{D.3.7-2}$$

Reemplazando,

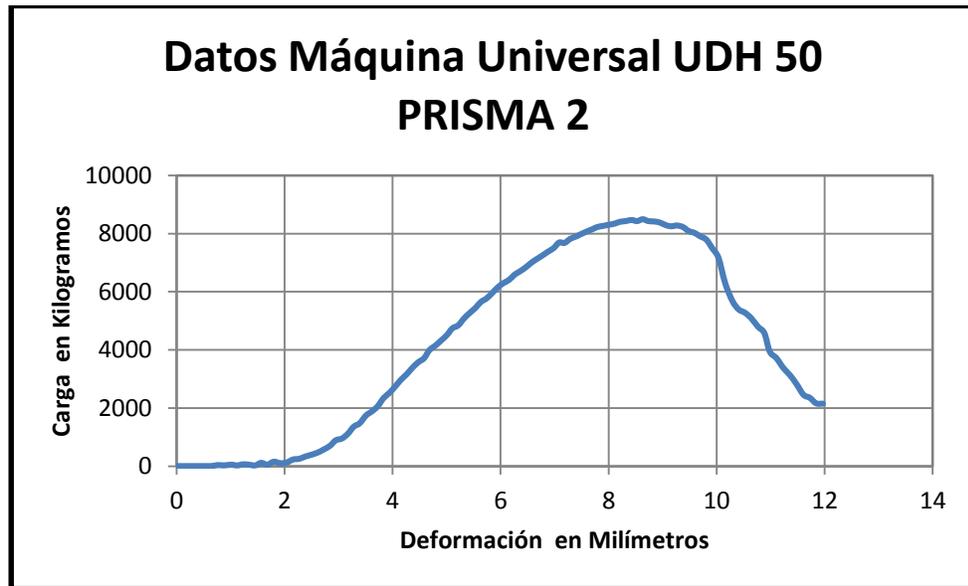
$$f'm = 3.15 \text{ MPa}$$

Con la ayuda del programa realizado por los estudiantes de Ingeniería en Automática Industrial, quienes sistematizaron la máquina Universal usada en el laboratorio de estructuras se logró obtener las gráficas Carga vs Deformación correspondientes que se muestran a continuación.

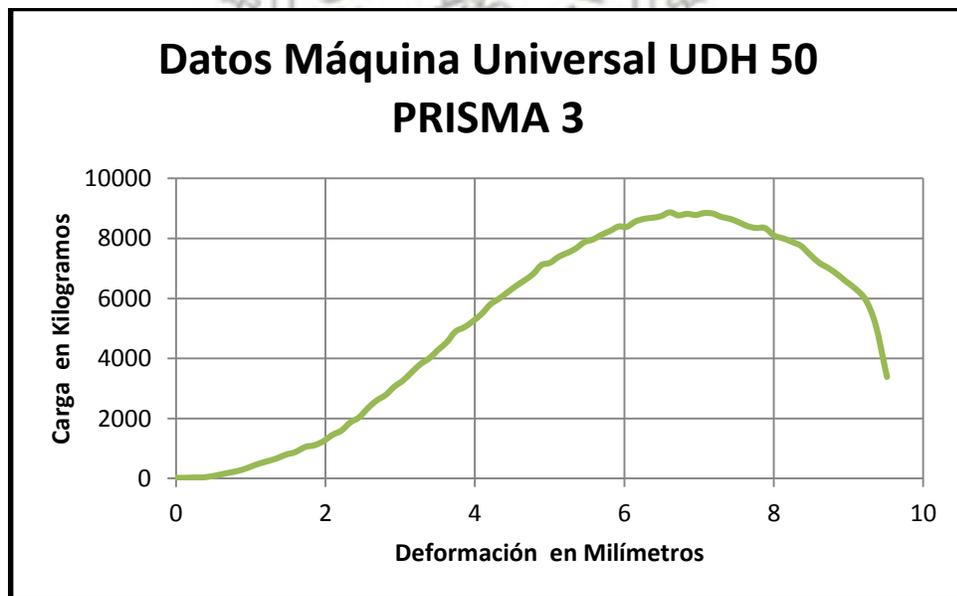
Gráfica 1 Carga vs Deformación- Prisma 1



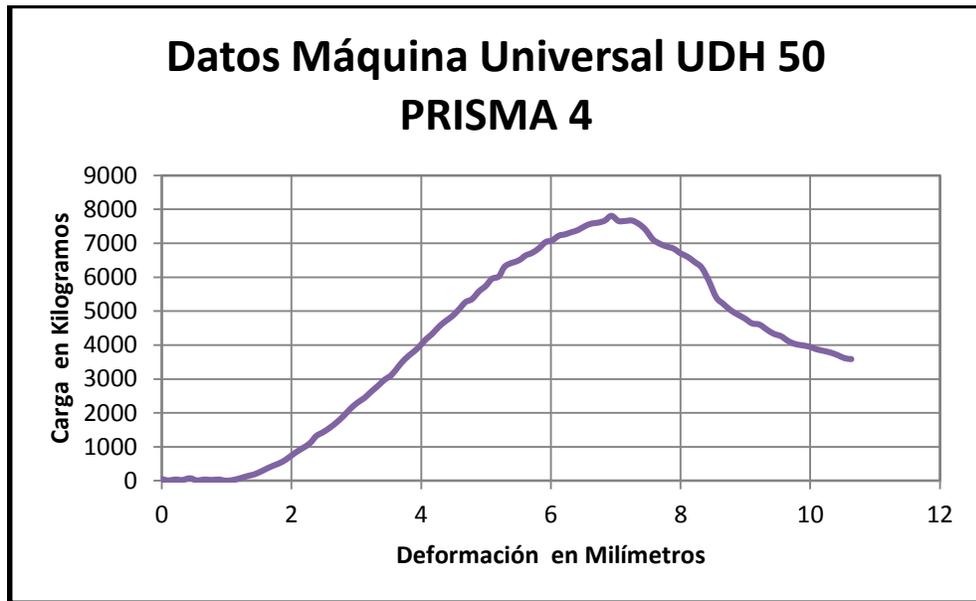
Gráfica 2 Carga vs Deformación- Prisma 2



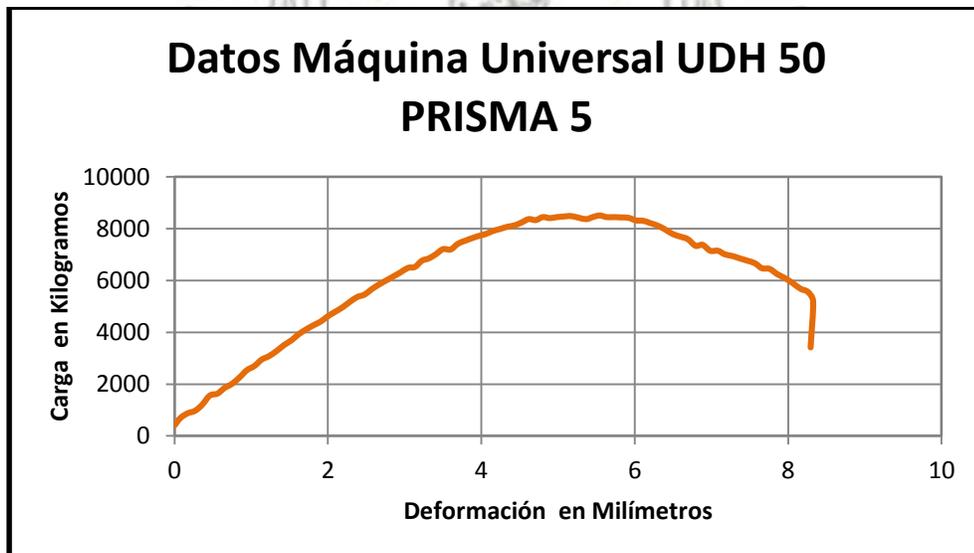
Gráfica 3 Carga vs Deformación- Prisma 3



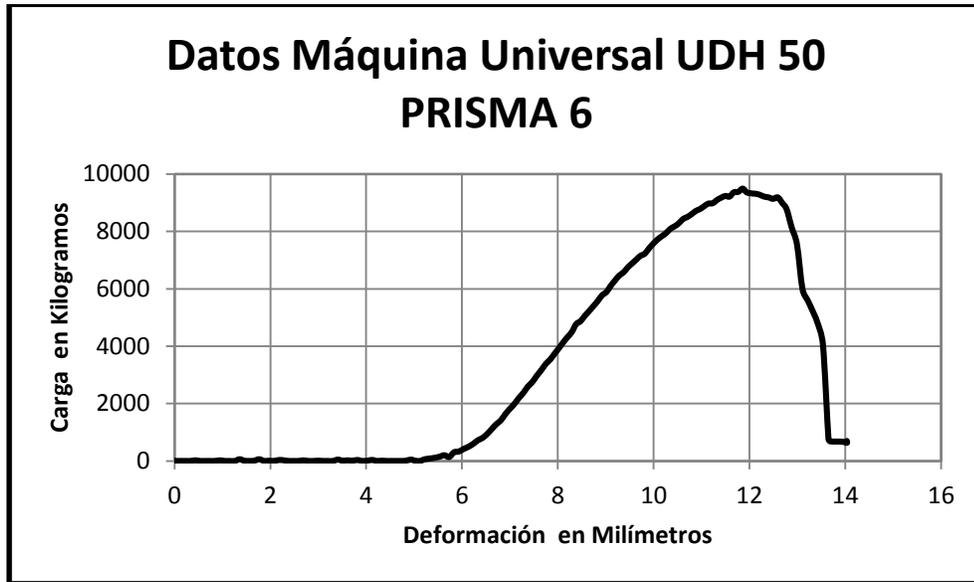
Gráfica 4 Carga vs Deformación- Prisma 4



Gráfica 5 Carga vs Deformación- Prisma 5



Gráfica 6 Carga vs Deformación- Prisma 6



3.6 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA (E_m)

Con los datos de esfuerzo de compresión de la mampostería (f'_m) y deformación unitaria interna fue posible encontrar el módulo de elasticidad de la mampostería (E_m).

$$E_m = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

E_m : Modulo de elasticidad de la mampostería, Mpa

ρ : Esfuerzo de compresión, Mpa

ε : Deformación unitaria interna

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Δl : Deformación interna del prisma

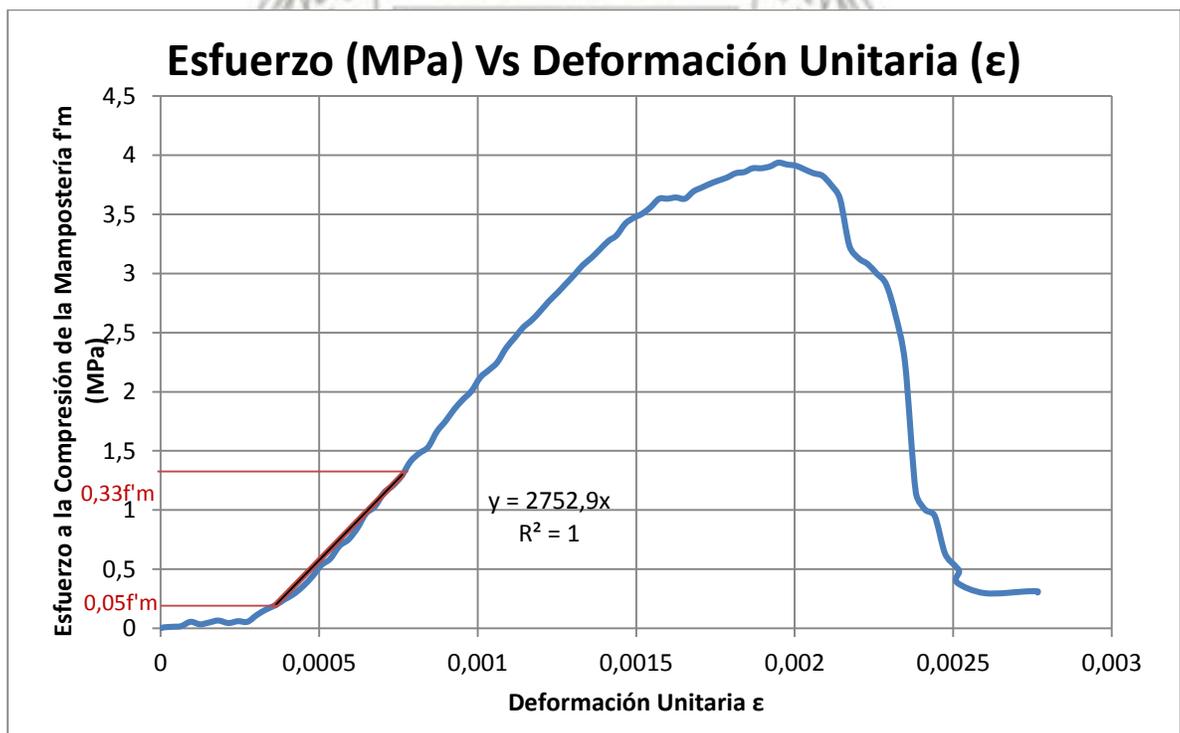
l : Distancia entre los puntos donde se mide la deformación interna



Para calcular el módulo de elasticidad de la mampostería, se trazaron las curvas *Esfuerzo vs Deformación Unitaria*, una vez realizadas estas gráficas se determinaron los puntos correspondientes a $0.05 \cdot f'm$ y $0.33 \cdot f'm$ (siendo $f'm$ el esfuerzo máximo del murete ensayado), con estos dos puntos se procedió a interpolar para establecer las deformaciones unitarias para dichos esfuerzos, finalmente se traza una secante con estos puntos en el tramo recto de la curva *Esfuerzo Vs Deformación Unitaria*.

Es decir el módulo de elasticidad se encontró como la pendiente de la parte recta de cada gráfica.

Gráfica 7 Módulo de Elasticidad- Prisma 1

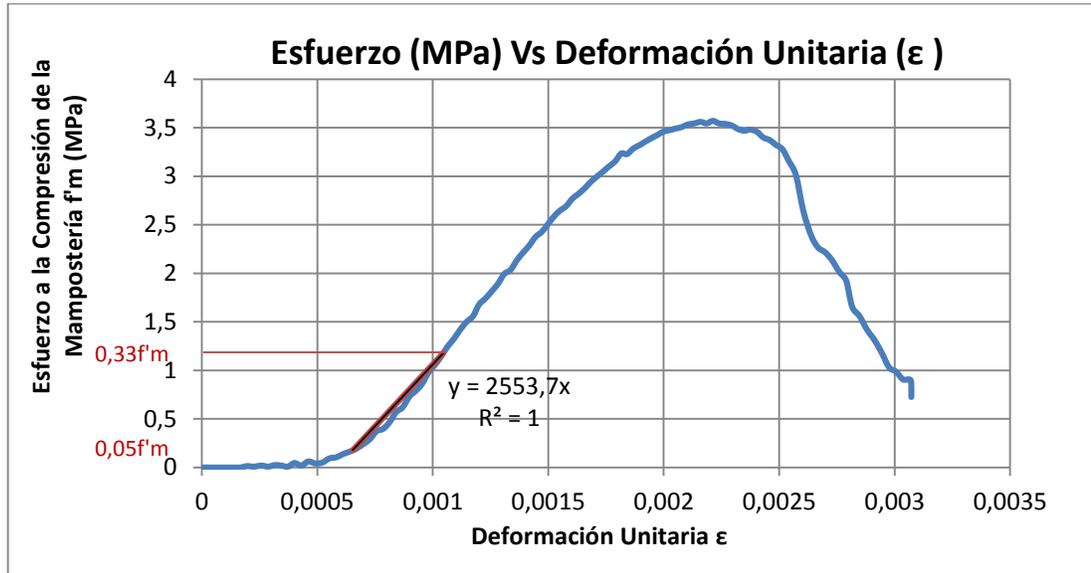


$$E = m = \frac{1,29884348 - 0,19679447}{0,00076232 - 0,00036200}$$

$$E = m = 2752,9 \text{ MPa}$$



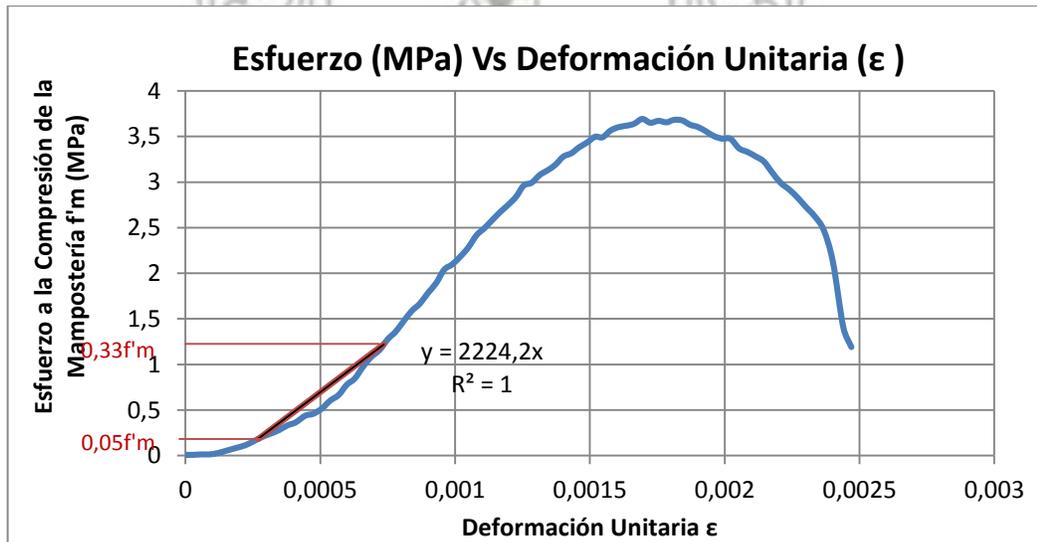
Gráfica 8 Módulo de Elasticidad- Prisma 2



$$E = m = \frac{1,17896822 - 0,17863155}{0,00104600 - 0,00065428}$$

$$E = m = 2553,7 \text{ MPa}$$

Gráfica 9 Módulo de Elasticidad- Prisma 3

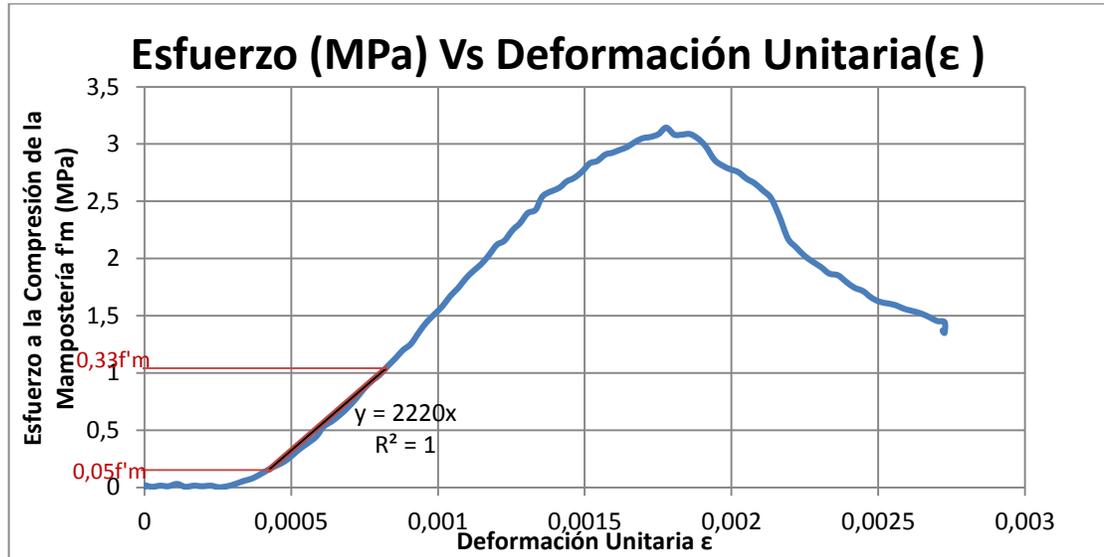


$$E = m = \frac{1,21888582 - 0,18467967}{0,000735300 - 0,00027033}$$

$$E = m = 2224,2 \text{ MPa}$$



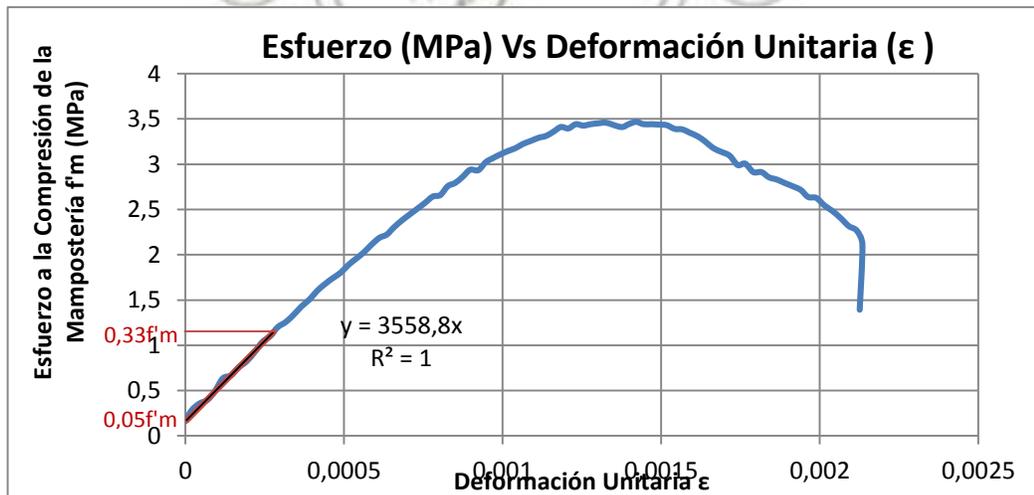
Gráfica 10 Módulo de Elasticidad- Prisma 4



$$E = m = \frac{1,03697504 - 0,15711743}{0,00082107 - 0,00042474}$$

$$E = m = 2220,0 \text{ MPa}$$

Gráfica 11 Módulo de Elasticidad- Prisma 5

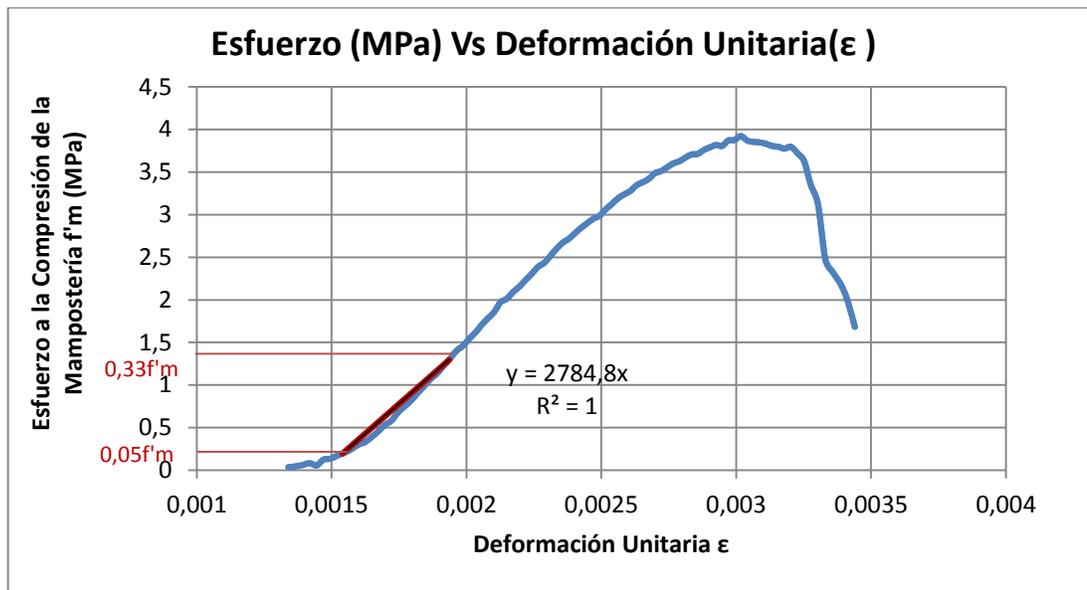


$$E = m = \frac{1,14446880 - 0,17340436}{0,00027693 - 0,00000407}$$

$$E = m = 3558,8 \text{ MPa}$$



Gráfica 12 Módulo de Elasticidad- Prisma 6



$$E = m = \frac{1,29518433 - 0,19624005}{0,00193547 - 0,00154085}$$

$$E = m = 2784,8 \text{ MPa}$$

En la Tabla N°24 se resumen los módulos de elasticidad para cada prisma analizado.

Tabla 20 Módulo de Elasticidad de la mampostería

PRISMA	Altura Prisma	Em (MPa)	Em promedio (MPa)	Desviación Estándar
1	36,9	2752,9	2682,4	494,7
2	37,0	2553,7		
3	35,7	2224,2		
4	35,9	2220,0		
5	36,3	3558,8		
6	35,9	2784,8		

3.7 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES

Los ensayos de compresión diagonal en los muretes se realizaron teniendo en cuenta la norma técnica colombiana **NTC 4925**—*Prefabricados de concreto-Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción diagonal (Cortante) en muretes de mampostería.*

EQUIPO Y ELEMENTOS VARIOS

Los equipos y elementos necesarios para este ensayo corresponden a:

- Deformímetros
- Marco de deformímetros
- Flexómetro
- Cronómetro
- Máquina Universal
- Platinas para soporte del murete
- Marco de bastidores
- Cámara(s) fotográfica o de video
- Elementos para registro y procesamiento de la información

Para controlar el riesgo que genera la desintegración del murete por la falla explosiva causada por el efecto de la presión que ejerce la carga, se realizó una segunda prueba preliminar al ensayo definitivo, el cual incluía mejoras en la realización del ensayo a compresión diagonal en muretes. Se elaboró un marco con bastidores y acero para contener el muro a la hora de aplicarle la carga de tal forma que este permitiera al murete deformarse sin ninguna restricción y lo soportara después de la falla sin que este fuera a desintegrarse y caer por fuera de la máquina universal.

A continuación se muestran fotos del marco utilizado para esta prueba.

DISEÑO DEL MARCO PARA EL SOSTENIMIENTO DE LOS MURETES

Foto 20 Marco para el sostenimiento de los muretes y base de los deformímetros



PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

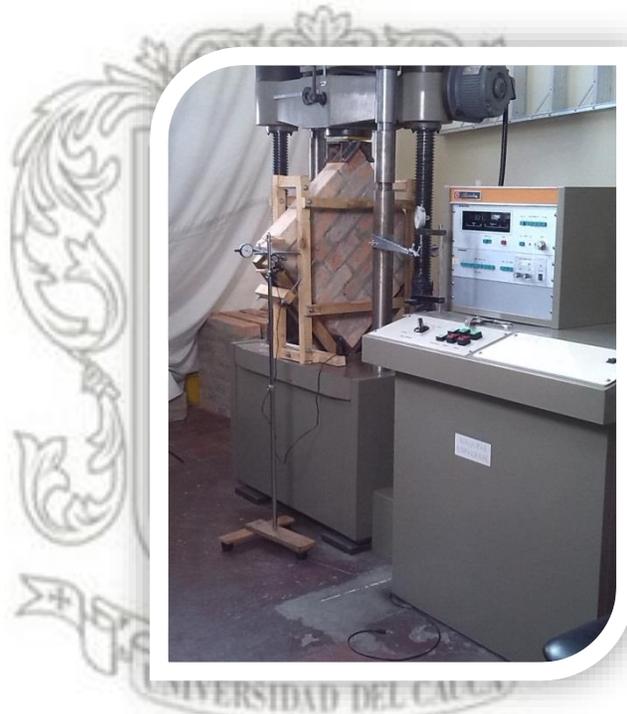
Se colocó el murete con el marco en la máquina universal instalando previamente las platinas en la máquina de prueba. Se orientó el murete a 45 grados de tal forma que su diagonal coincidiera con la línea de acción de aplicación de la carga. Se garantizó que los muretes sean cuadrados para evitar un desalineamiento con respecto a la diagonal del murete.

Se vigiló que tanto el plato superior como el inferior de la máquina estuvieran completamente limpios, posteriormente se bajó el cabezal superior de la máquina universal para que entre en contacto con la platina superior del murete y así este quedara estable. A continuación se instaló el marco de madera junto con los deformímetros, estos últimos deben quedar en contacto con la parte central de los

extremos de la diagonal horizontal del murete (Foto N°21 y N°22). También se contó con un deformímetro ajustado a la máquina para la medición de la deformación vertical.

La aplicación de la carga se realizó de acuerdo al rango medio de velocidad que maneja el programa diseñado para la sistematización de la máquina Shimadzu. Se retiraron los deformímetros antes que el murete empezara la falla (una vez se supera el campo elástico), para evitar dañarlos.

Foto 21 Murete instalado en la máquina universal



Se hizo uso del programa ¡Spy durante el ensayo de compresión diagonal en muretes, debido a que esta ayuda informática permite grabar videos generados por una serie de cámaras web de manera conjunta, y hace posible entonces recopilar la información proveniente tanto de los deformímetros laterales como del deformímetro vertical durante la ejecución del ensayo, y de esta forma tener un registro adicional a los datos obtenidos por la máquina universal.

El formato para la toma de datos se registró de acuerdo al Anexo B.

Foto 22 Montaje de cámara web y deformímetro lateral



Foto obtenida de la monografía Sistema de Monitoreo y Supervisión de la Máquina Shimadzu-Figura 86; Agredo Albán Martha Natalia-Quintana Núñez; Universidad del Cauca 2014

La aplicación de la carga se inicia a una velocidad aproximada de 300 kg/min hasta la mitad de la carga última esperada. A partir de este momento se carga a una velocidad tal que se alcance la carga de falla en no menos de un minuto ni superior a dos. Los incrementos de carga fueron de aproximadamente 300 kg, para tomar como mínimo 10 datos de deformación antes de la falla para poder construir la gráfica de esfuerzo-deformación.

Se presenta a continuación las tablas con los datos correspondientes:

DATOS DE LOS MURETES

Tabla 21 Dimensiones muretes

MURETE	ALTO(cm)					LARGO(cm)					ESPESOR(cm)				
	h1	h2	h3	h4	Hprom	l1	l2	l3	l4	Lprom	e1	e2	e3	e4	Eprom
1	60,0	60,0	60,2	60,4	60,2	59,8	59,6	59,6	59,6	59,7	11,0	11,2	11,2	11,2	11,2
2	59,8	59,6	60,0	59,8	59,8	59,6	59,4	59,8	59,4	59,6	11,2	11,2	11,2	11,4	11,3
3	60,0	60,0	60,0	59,6	59,9	60,0	59,8	59,8	60,0	59,9	11,2	11,2	11,2	11,0	11,2
4	59,8	60,0	60,0	60,2	60,0	59,0	59,4	59,6	59,4	59,4	11,2	11,4	11,4	11,4	11,4
5	60,0	60,2	60,0	60,0	60,1	59,6	59,4	60,0	59,8	59,7	11,6	11,2	11,2	11,6	11,4
6	59,6	59,6	59,8	59,6	59,7	59,4	59,6	59,8	60,0	59,7	11,4	11,0	11,2	11,0	11,2

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

$$A_n = t * \left(\frac{l + h}{2} \right) * n$$

A_n : Area neta del murete

t : Espesor total del murete (mm)

l : Longitud del murete (mm)

h : Altura del murete (mm)

n : Porcentaje de la pieza bruta que es sólida



$$V_m = \frac{0,707 * P}{A_n}$$

V_m : resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por la mampostería

A_n : Area neta de la muestra, mm²

P : Carga aplicada a través de una diagonal, N

Tabla 22 Datos obtenidos en laboratorio para muretes y esfuerzo cortante

MURETE	Diagonal vertical (cm)	An (mm ²)	Pu (KN)	Pu (Kg)	Pu (N)
1	84,78	67144	48,36	4931,27	48360,00
2	84,43	67461	49,34	4934,35	48405,94
3	84,70	67088	50,36	5036,16	49404,70
4	84,43	68058	46,54	4654,37	45659,35
5	84,71	68286	40,31	4030,78	39541,94
6	84,43	66864	43,11	4310,76	42288,53

Tabla 23 Carga Última, Deformación y resistencia a la compresión en muretes

PRISMA	AREA (mm ²)	Pu (N)	Pu (Kg)	DEFORMACION VERTICAL(mm)	V'm (MPa)	V'm (kg/cm ²)
1	67144	48360	4931,27	-	0,51	5,1
2	67461	49340	4934,35	6,875	0,5	5,0
3	67088	50360	5036,16	6,350	0,53	5,3
4	68058	46540	4654,37	7,592	0,48	4,8
5	68286	40310	4030,78	6,883	0,41	4,1
6	66864	43110	4310,76	6,8917	0,45	4,5
PROMEDIO					0,48	4,8
DESVIACIÓN ESTÁNDAR					0,05	0,5

Observaciones

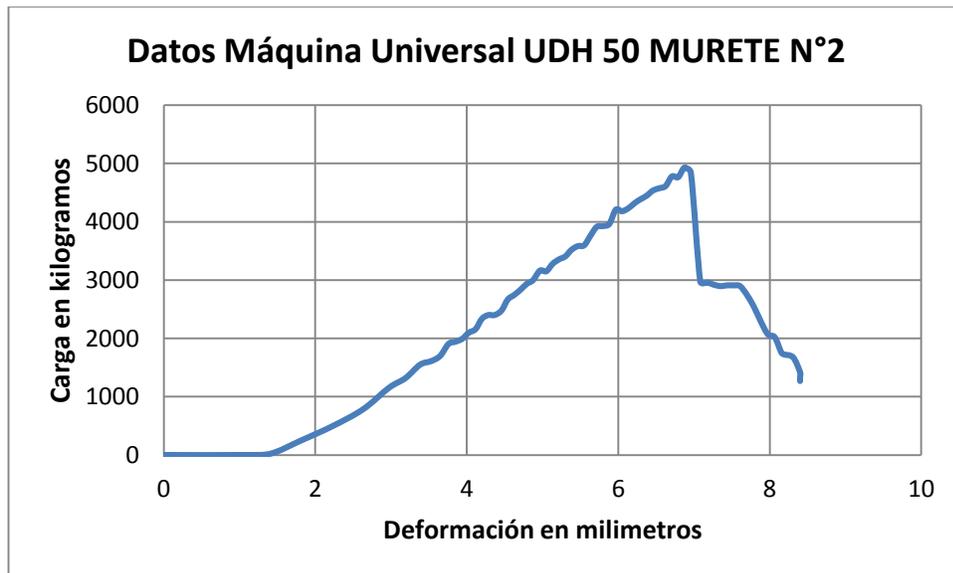
- La curva Esfuerzo vs Deformación del murete N°1 no fue posible obtener por inconvenientes técnicos en la toma de datos.



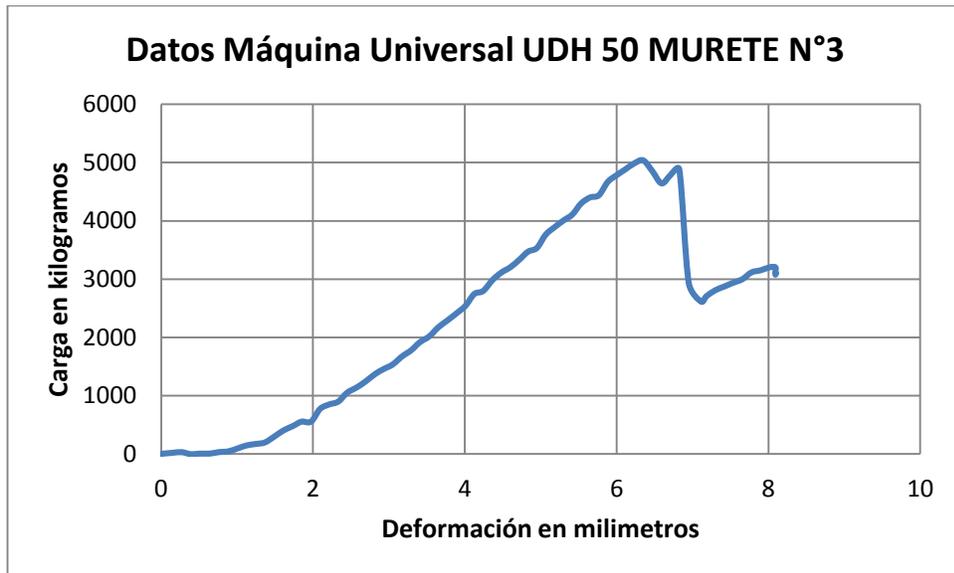
- La deformación horizontal no fue posible determinarla debido a que los deformímetros instalados para medir el alargamiento horizontal sobre la diagonal no cargada no indicó datos exactos y estables que conllevaran a la confiabilidad de los mismos, sin embargo, los datos obtenidos de la deformación vertical pudieron ser debidamente analizados. Se presentan las curvas Carga vs deformación vertical de los muretes en las siguientes gráficas.

A continuación se adjuntan las curvas de carga vs Deformación vertical.

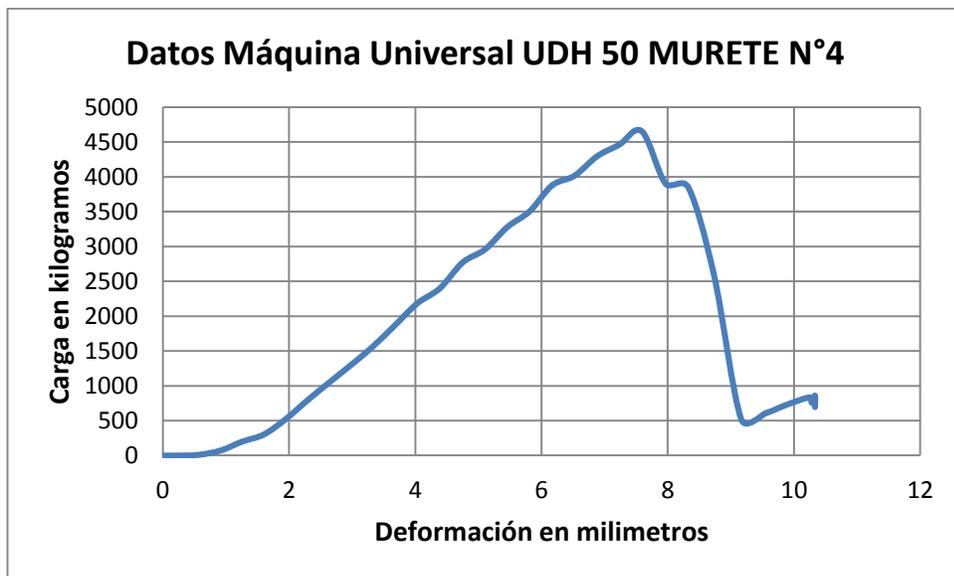
Gráfica 13 Carga vs deformación vertical- Murete 2



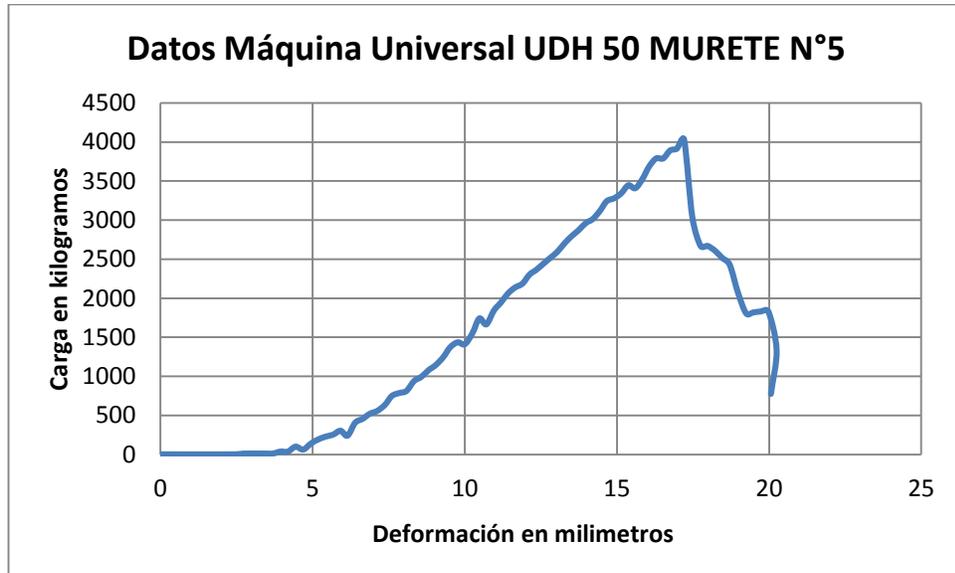
Gráfica 14 Carga vs deformación vertical- Murete 3



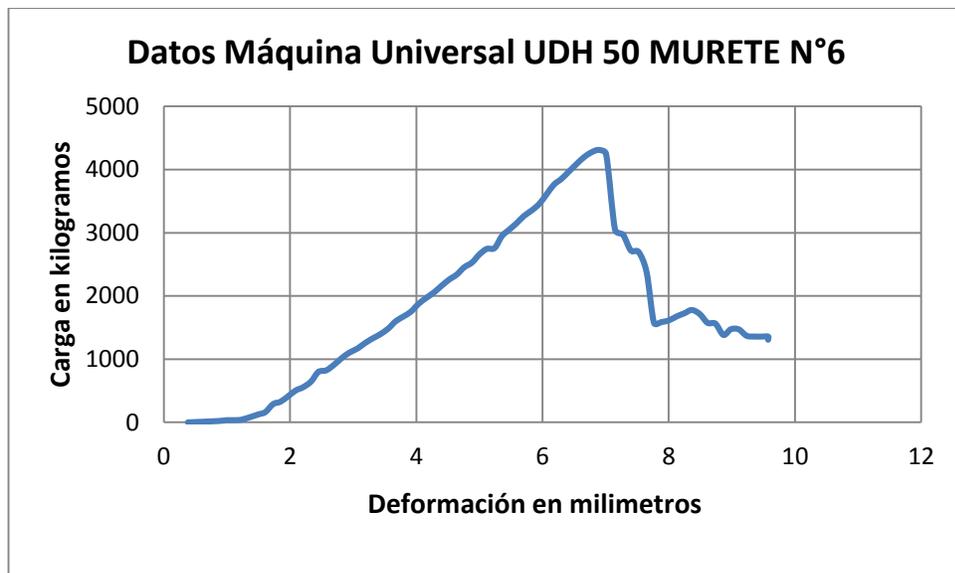
Gráfica 15 Carga vs deformación vertical- Murete 4



Gráfica 16 Carga vs deformación vertical- Murete 5



Gráfica 17 Carga vs deformación- Murete 6



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Análisis de la resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería**

Se observó que el valor de desviación estándar fue de 1,088 lo cual indica que hay dispersión de datos y que estos valores se alejan respecto al promedio o media aritmética (6.28 MPa). Una posible causa puede ser la fabricación artesanal del ladrillo producido en el sector de estudio, quienes lo elaboran no tienen un control total de todas las variables que intervienen como el clima, dosificación de materiales, presión aplicada al ladrillo, secado, tipo de arcilla, cantidad de agua a adicionar, tiempo de cocción y cantidad de calor que le llega a cada ladrillo en el momento de quema en el galpón, lo cual pudo haber interferido en la variabilidad de la resistencia de los mismos.

La resistencia promedio a la compresión de la unidad de mampostería obtenida experimentalmente fue 6.28 MPa, de acuerdo a la NTC 4205 *Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Parte 1: Mampostería estructural*, se establecen los requisitos que deben cumplir los ladrillos utilizados como unidad de mampostería.

En la siguiente tabla se hace referencia a la resistencia mínima a la compresión.

Tabla 24 Resistencia mínima a la Compresión de la Unidad de Mampostería

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa (Kg/cm²)
Unidad de perforación horizontal	3.5 (35)
Unidad de perforación vertical	15 (150)
Unidad maciza	15 (150)

Con base en la anterior tabla, se observa que la resistencia a la compresión obtenida experimentalmente para la unidad de mampostería maciza es el 42% de la resistencia mínima especificada en la NTC 4205.

El ensayo de compresión de una unidad de mampostería es un indicativo directo de la calidad de la misma, en este caso, sólo se tienen 14 resultados para esta variable, lo cual no es una muestra representativa de toda la producción del ladrillo del sector en estudio. El promedio obtenido está por debajo de los requerimientos técnicos, lo cual es un precedente que confirma la necesidad de realizar un estudio más amplio, con una muestra representativa de la producción en el tiempo, es decir, haciendo un seguimiento de las unidades producidas durante varios periodos (estudio que adelanta el grupo de investigación GIMEC) para poder establecer valores que identifiquen la calidad real del material y así, de ser necesario, implementar métodos para mejorar el proceso de fabricación.

- **Análisis del mortero de pega**

Dado que la resistencia del mortero obtenido fue inferior a la esperada inicialmente para el mortero tipo S (12,5 MPa), los análisis se basaron en un mortero tipo N.

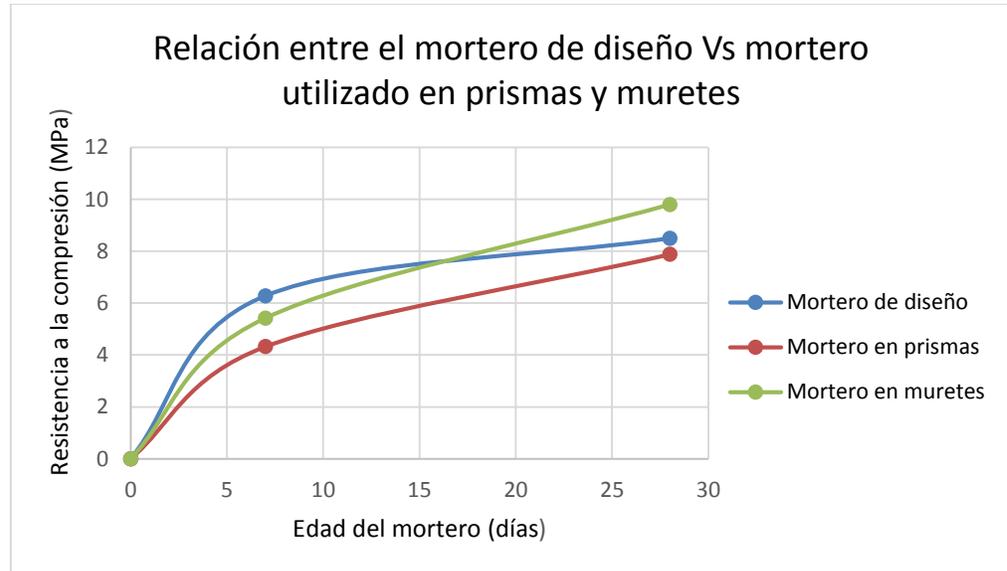
Inicialmente se diseñó un mortero de pega en laboratorio para el cual se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 8.5 MPa, valor superior al especificado por la norma para el mortero tipo N, de 7.5 MPa. Para la construcción de los prismas y muretes se utilizó la misma dosificación del mortero preparado en laboratorio (1:3.5).

La resistencia final del mortero de pega usado en las probetas presentó variación, como se indica en la siguiente tabla, respecto a la resistencia obtenida para el mortero de diseño.

Tabla 25 Resistencia del mortero de pega de diseño vs mortero de pega usado en prismas y muretes

Edad (días)	Resistencia a la compresión del mortero f'_{cp} (MPa)			
	Diseño	Prismas	Muretes (bachada 1)	Muretes (bachada 2)
7	6,28	4,32	-	5,42
28	8,50	7,88	8,77	9,8

Gráfica 18 Relación entre el mortero teórico vs mortero utilizado en prismas y muretes



En la gráfica N°18 es posible observar que la resistencia a la compresión del mortero de diseño resultó mayor que la resistencia del mortero de pega usado en la elaboración de los prismas, es claro que al comparar la resistencia tanto a los 7 como a los 28 días la curva azul (Mortero de diseño) está siempre sobre las curva roja (Mortero usado en los Prismas).

La misma gráfica muestra que a la edad de los 7 días, el mortero de diseño (Línea azul) tiene una mayor resistencia a la compresión que el mortero de pega empleado en los muretes, pero esto cambia a la edad de los 28 días, en donde el mortero de pega hecho en obra supera la resistencia a la compresión del mortero de diseño. Pudo observarse que la resistencia del mortero de pega a los 28 días usado en los muretes dio mayor que la resistencia del mortero de diseño.

Es posible intuir que la razón por la cual la resistencia del mortero de pega para prismas y muretes no dio lo mismo que la del mortero de pega de diseño fue por el modo de elaboración, ya que a pesar de utilizar los mismos materiales, las condiciones tanto de preparación como ambientales variaron para cada mortero preparado. El mortero de diseño se realizó en una cantidad de mezcla muy pequeña con respecto a los prismas y muretes siguiendo el procedimiento de la norma I.N.V. E-321-07 *Mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y*

morteros de consistencia plástica; en cambio el mortero utilizado en los prismas y muretes se elaboró utilizando una mezcladora mecánica sin realizar control del tiempo de mezclado sino hasta que la mezcla tuviese una buena consistencia.

Es importante tener en cuenta que el mortero tipo N no es permitido por la Norma NSR10 para su utilización en mampostería estructural, sin embargo, con este estudio se pretendió simular en lo posible, las condiciones de preparación del mortero que se utilizan en nuestro medio, las cuales se asemejan más a las del tipo N, que a las de los morteros tipo S y M que exige la norma.

- **Análisis de la fluidez del mortero de pega**

El grado de fluidez del mortero se refiere a la maleabilidad de la mezcla de mortero en su estado plástico y está relacionada con la consistencia, es decir que tan dura (seca) o blanda (fluida) está la mezcla en su estado plástico.

Los valores típicos de fluidez del mortero recomendadas son:

Tabla 26 Valores típicos de fluidez y tipo de estructura en que se utilizan

CONSISTENCIA	FLUIDEZ	TIPO DE ESTRUCTURA
Duro (seco)	80-100	Pisos, Pantallas de cimentación, reparaciones
Medio (plástico)	100-120	Pega de mampostería, baldosines, pañetes revestimientos
Fluido (húmedo)	120-150	Pañetes, rellenos de mampostería estructural

Barrios Jaramillo Luis Hébert, Manual de ensayos de laboratorio mampostería Estructural. Segunda edición. Santafé de Bogotá, D.C, 1998, p 80.

Los valores obtenidos de fluidez se consignan en la tabla N°26 que se presenta a continuación.

Tabla 27 Resumen de valores de fluidez obtenidos para el mortero diseño y el utilizado en prismas y muretes

MORTERO DE PEGA	FLUIDEZ OBTENIDA	RANGO DE FLUIDEZ	CONSISTENCIA	TIPO DE ESTRUCTURA
Diseño	112,4	100-120	Medio (Plástico)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes revestimientos
Prismas	105,2			
Muretes(bachada 1)	113,1			
Muretes(bachada 2)	111,12			

Los datos encontrados experimentalmente de fluidez están dentro del medio plástico lo cual cumple con lo estipulado en la norma NSR-10 para morteros tipo S y N.

- **Análisis de la resistencia a la compresión de la mampostería ($f'm$)**

La resistencia promedio a la compresión de la mampostería obtenida fue de 2,8 MPa, al comparar este resultado con el valor de referencia (13 MPa) tomado de la tesis Manual de ensayos de mampostería estructural³ equivale al 22% de la resistencia requerida. Esto indica que el conjunto de mortero de pega y unidad de mampostería no cumple con la calidad esperada, lo cual posiblemente se deba a diversos factores tales como la calidad de las unidades, la resistencia del mortero y el curado de las muestras.

Los criterios de aceptación y rechazo para admitir la calidad de la mampostería según la NSR-10 se cita a continuación:

“La calidad de la mampostería se considera satisfactoria si se cumplen simultáneamente que el promedio de los resultados de resistencia a la compresión de los morteros de pega, morteros de relleno, unidades y muretes (prismas) es mayor o igual a la resistencia especificada, y ningún valor individual es inferior al 80% de la resistencia especificada.”

³Barrios Jaramillo, L. Manual de ensayos de mampostería estructural. 2 ed. Santa fe de Bogotá D.C. p: 82

Partiendo de este hecho se tiene:

Tabla 28 Resumen de resistencia a la compresión obtenidas y especificadas de unidades de mampostería, morteros de pega y mampostería

Resistencia a la compresión	Especificada (MPa)	80% de la resistencia especificada	Obtenida (MPa)	Resistencia obtenida vs 80 % Resistencia especificada
Unidad de mampostería	15	12	6,28	< 80%
Mortero Prismas	7,5	6	7,88	> 80 %
Mampostería f'm	13	10,4	2,8	< 80
Promedio			5.65 < 13	

Según la norma NSR-10 la calidad de la mampostería no se considera satisfactoria puesto que sólo el mortero de pega supera el 80% de su resistencia especificada, mientras que el ladrillo y los prismas no superan dicha referencia. En conjunto, el promedio de las resistencias a la compresión no supera la resistencia requerida para la mampostería; hecho que indica que es necesario tomar medidas para aumentar la resistencia de cada componente.

Se observó también que el valor de resistencia de la mampostería (f'm) obtenido experimentalmente (2.8 MPa) es inferior al obtenido basado en la calidad de los materiales el cual fue de 3.15 MPa, en una proporción de 11%.

- **Análisis del Módulo de Elasticidad de la mampostería**

El módulo de elasticidad para mampostería en arcilla es posible obtenerlo de la ecuación D.5.2.-3, de la NSR 10, en función de la resistencia a la compresión de la mampostería (f'm), cuando no se tienen valores experimentales, así:

$$E_m = 750 f'm \leq 20000 \text{ MPa}$$

$$E_m = 750 * 2,8 \leq 20000 \text{ MPa}$$

$$E_m = 2100 \leq 20000 \text{ MPa}$$

El módulo de Elasticidad de la mampostería obtenido experimentalmente, de las curvas esfuerzo – deformación unitaria fue 2682,4 MPa, lo cual indica que la correlación que establece la norma NSR-10 es adecuada y se puede hacer uso de esta cuando no se tienen valores experimentales.

En el manual de ensayos de mampostería estructural se da un valor de referencia de 15000 MPa para el módulo de elasticidad según los estudios realizados en la Universidad de los Andes, siendo un valor alto comparado con los resultados obtenidos, pero también se conoce un valor de referencia, no oficial, comúnmente usado en diseños o cálculos estructurales corresponde a 4000 MPa. Siendo este último el 27% con respecto al valor indicado en el manual de ensayos de mampostería. De igual forma con el valor obtenido experimentalmente se puede observar que este es 18% con respecto al manual y 67% con respecto al valor de referencia usado de forma no oficial en cálculos estructurales. Cabe anotar que se presentó una desviación estándar (494.7) alta en el cálculo del módulo, lo cual indica una importante dispersión de resultados.

- **Análisis del Módulo a cortante de la Mampostería.**

Dado a que surgieron inconvenientes en el montaje del ensayo no fue posible encontrar el módulo a cortante experimentalmente, ya que la deformación por cortante no logró obtenerse debido a que los deformímetros instalados para medir el alargamiento horizontal sobre la diagonal no cargada no indicó datos exactos y estables que conllevaran a la confiabilidad de los mismos; lo cual ocurrió por dificultades en la instalación y estabilidad de los deformímetros en el marco de soporte de los muretes.

El título D de la NSR-10 presenta una correlación para encontrar el módulo a cortante cuando no es posible hacerlo experimentalmente.

$$G = 0,4 * E_m$$

$$G = 0,4 * 2682.4$$

$$G = 1073 \text{ MPa}$$

- **Análisis de la resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por la mampostería**

El valor promedio obtenido de resistencia al corte fue de $4,8 \text{ kg/cm}^2$ lo cual es el 54% del valor establecido en el Manual de ensayos teniendo como referencia $8,9 \text{ kg/cm}^2$ para ladrillos toletes de arcilla.

De acuerdo a lo expresado en el libro Mampostería Estructural⁴ el valor establecido para la resistencia al corte está en el rango de 5 a 6 kg/cm^2 , es decir, que el valor obtenido experimentalmente corresponde al 96% del límite inferior (5 kg/cm^2).

- **Tipos de falla obtenidos en prismas**

Foto 23 Falla Prisma 1



⁴ Gutiérrez Junco, O. Mampostería Estructural. 1 Ed. Bogotá D.C. 2003. P: 103

Foto 24 Falla Prisma 2



Foto 25 Falla Prisma 3



Foto 26 Falla Prisma 4



Foto 27 Falla Prisma 5



Foto 28 Falla Prisma 6



En todos los prismas la falla presentada fue por aplastamiento, ocurriendo grietas verticales generadas por la tracción horizontal, comenzando en las unidades de mampostería y extendiéndose al mortero.

Cabe destacar que al ser las unidades de mampostería de producción artesanal presentaban desportillamiento, fisuración por secado e irregularidad en las dimensiones, por lo cual se trató de seleccionar las unidades más similares para la realización de cada prisma centrándolas y plomándolas por una sola cara.

- Tipos de falla obtenidos en muretes

Foto 29 Falla Murete 1



Foto 30 Falla Murete 2



Foto 31 Falla Murete 3



Foto 32 Falla Murete 4



Foto 33 Falla Murete 5



Foto 34 Falla Murete 6



Para los muretes se presentaron dos tipos de patrones de agrietamiento que dieron origen a fallas en los muros:

1. Falla de aplastamiento por compresión diagonal

Esta falla se presentó en los muretes N°2, N°3, N°4, N°5 y N°6 en los cuales se pudo visualizar una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas y su trayectoria es aproximadamente recta.

2. Falla por tensión diagonal en juntas

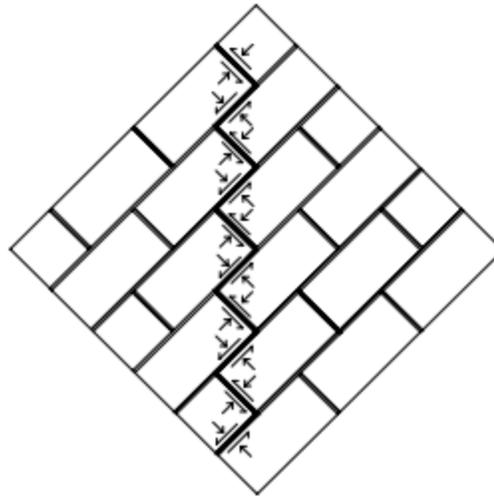
Esta falla se presentó en el murete N°1 por falta de adherencia entre el bloque y el mortero y su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete.

Las variables que afectaron la resistencia al corte de la mampostería fueron: el tipo de unidad de mampostería, tipo de mortero y la adherencia bloque-mortero.

La adherencia bloque-mortero se minimiza si se tienen unidades de mampostería con superficies poco rugosas o con capas de polvo, si se tiene una mano de obra deficiente, juntas de mortero incompletas y el uso de mortero endurecido. Cualquiera de estas condiciones pudo haber contribuido en el resultado obtenido para el murete N°1.

Solamente en un murete se presentó falla por adherencia bloque-mortero que indica que la cantidad de cemento en el mortero y la cantidad de agua fue adecuada y se logró obtener una buena trabajabilidad y garantizar la permanencia de agua en el mortero después del primer contacto con la unidad de mampostería ya que el 83% de los muretes presentaron falla por compresión diagonal. A continuación se indica la combinación de esfuerzos cortantes y esfuerzos de compresión que se presenta en la falla por tensión diagonal en las juntas.

Figura 10 Combinación de esfuerzos cortantes y esfuerzos de compresión que presenta la falla por tensión diagonal en juntas



Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto (2009). Recuperado de http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf

- Correlaciones encontradas

Con los valores obtenidos en el presente trabajo es posible a modo comparativo plantear las siguientes correlaciones para este caso en particular:

Establecidas por la NSR-10	Encontradas experimentalmente
$E_m = 750 * f'm$	$E_m = 958 * f'm$
$V_m = \frac{0,707 * P}{An}$	$V_m = 1,7 f'm$

5. CONCLUSIONES

- La resistencia promedio a la compresión de la unidad de mampostería de la muestra tomada (14 unidades) fue de 6.28 MPa, lo cual con respecto al valor que establece la NTC 4205 de 15 MPa para ladrillos macizos tipo tolete, no cumplió con dicha condición siendo el valor obtenido el 42% del especificado por la norma. Estos resultados, a pesar de ser obtenidos de una muestra pequeña advierten que la resistencia de la unidad de mampostería producida en el sector de Popayán en estudio es inferior a la especificada por la normas técnicas y que es necesario realizar un estudio más amplio, con una muestra más representativa, que permita realizar un seguimiento en el tiempo de la calidad de este material y que involucre todas las variables de su fabricación.
- La resistencia del mortero de pega fue en promedio de 8.5 MPa, valor inferior a la resistencia especificada para un mortero tipo S (12.5 MPa) permitido por la norma NSR-10, sin embargo, el mortero de pega fue elaborado intentando simular las condiciones de fabricación representativas del medio, que se asemejan un poco más a la resistencia de un mortero tipo N (7.5 MPa); teniendo en cuenta que este mortero no es permitido por la norma.
- En el análisis de fluidez del mortero se concluyó que los datos encontrados experimentalmente están dentro del rango medio plástico (100-120) lo cual cumple con lo estipulado en la norma NSR-10 para morteros tipo S y N y pueden ser empleados en estructuras de pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos, desde el punto de vista de la manejabilidad.
- Según la norma NSR-10 la calidad de la mampostería no se considera satisfactoria puesto que sólo el mortero de pega supera el 80% de su resistencia especificada, mientras que el ladrillo y los prismas no superan dicha referencia. En conjunto, el promedio de las resistencias a la compresión no supera la resistencia requerida para la mampostería; hecho que indica que es necesario tomar medidas para aumentar la resistencia de cada componente.

- La resistencia al cortante obtenida fue de $4,8 \text{ kg/cm}^2$, siendo el 96% de la resistencia especificada en el texto de Mampostería Estructural, indicando una buena adherencia entre el mortero de pega y la unidad de mampostería. Esta condición se vio reflejada en el tipo de fallas que presentaron los muretes ensayados las cuales fueron principalmente por tensión diagonal en el bloque, es decir que la grieta atravesó predominantemente las piezas.

CONCLUSIONES GENERALES

- Fue posible realizar el montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería adecuando la máquina Universal que se encuentra en el laboratorio de estructuras de la Universidad del Cauca, obteniendo datos para su posterior análisis.
- El curado es un aspecto que influye de manera directa en la resistencia de la mampostería, por esta razón debe prestarse especial atención a esta actividad, a lo cual no se le da el debido control en las construcciones del medio.
- Uno de las variables que mayor incidencia que tiene en la resistencia a la compresión de la mampostería es la mano de obra. Este aspecto puede afectar hasta en un 100% el valor de f_m ya que todos los problemas de efectos indirectos pueden ser acrecentados por una geometría poco regular.
- Se observó en las pruebas realizadas que a pesar de mantener variables constantes como mano de obra, condiciones ambientales tales como la humedad relativa y la temperatura; el lugar de procedencia de los materiales y los procesos de elaboración de los prismas y muretes, en el momento de someter a estos a compresión, se obtuvo una dispersión alta del resultado en los diferentes ensayos realizados en relación a la media aritmética, lo que significa que no se puede dar una tendencia hacia un resultado en particular.

- Al observar los valores promedios obtenidos en los ensayos realizados, se puede concluir que las unidades por si solas no cumplen con las exigencias mínimas de resistencia a compresión establecidas en la norma NSR-10, mientras que en conjunto con el mortero de pega se logran alcanzar mayores resistencias a esfuerzos cortantes sin embargo tienen deficiencias en soportar cargas de compresión. Lo que hace necesario identificar como mejorar las resistencias individuales de los componentes de la mampostería que permitan mejorar el desempeño de la misma a este tipo de sollicitaciones.
- Debido a que las condiciones de construcción no se pueden generalizar dado que cada una tiene su particularidad, es importante realizar los ensayos que reflejen las condiciones reales de obra y no a través de correlaciones.

6. RECOMENDACIONES

Para posteriores trabajos de investigación relacionados con la mampostería se hacen las siguientes sugerencias:

1. Diseñar un montaje adecuado y/o utilizar dispositivos electrónicos que permitan medir de una manera continua y real la deformación horizontal o alargamiento en el ensayo de compresión diagonal en muretes que faciliten la obtención experimental del módulo a cortante.
2. Por seguridad es necesario utilizar el marco para el sostenimiento de los muretes en todas las pruebas y se recomienda mejorar el diseño de este, ya que la falla en este tipo de ensayo es inesperada y de carácter explosivo.
3. Se recomienda tener un mayor control en el proceso de curado para evitar el fenómeno de la retracción que experimenta el mortero durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento.
4. Es importante evaluar el punto de saturación adecuado de las unidades de mampostería para mantener la cantidad óptima de agua en el mortero y así lograr una mayor resistencia bloque-mortero.
5. Se resalta la importancia de hacer la adecuación de la máquina universal para poder realizar ensayos de compresión diagonal en muretes de dimensiones mayores tal como lo recomienda la NTC 4925.
6. Realizar el mismo estudio variando los tipos de mortero con el objetivo de evaluar su influencia en la resistencia de la mampostería y resistencia al corte.
7. Llevar a cabo el ensayo de compresión diagonal en muretes refrentando las esquinas que están en contacto con las platinas y comparar la posible variación de resistencia con respecto al presente estudio.
8. Se propone que la Universidad del Cauca a través de los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil adecue un espacio en el cual los ingenieros constructores puedan realizar los ensayos de compresión simple y compresión diagonal con insumos y mano de obra propios de su construcción, con el fin de replicar las condiciones de campo en el laboratorio.

7. BIBLIOGRAFIA

Araoz Escobedo Tania Ana, Velezmoro Girón Jhonatan Pedro, Reforzamiento de viviendas existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta - segunda etapa. Lima, 2012, 95 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ingeniería.

Barrios Jaramillo Luis Hébert, Manual de ensayos de laboratorio mampostería estructural. Segunda edición. Santafé de Bogotá, D.C, 1998, 132 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería civil.

Sanchez Gil Ana Yanet, Mejía Angarita Fredy Yair, Análisis de los esfuerzos de compresión en unidades de mampostería estructural y muretes E-9, E-11 y E-14 de una empresa ladrillera de Santander. Bucaramanga, 2009, 111h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería y administración.

Ing. Gerardo Antonio Rivera López. Concreto Simple. Popayán: Universidad del Cauca, 2012. p.204

Barros Mendoza, Hugues Leonardo, Rodríguez Sánchez, RubenDoranceDirectora. Retamoso Llamas, Claudia Patricia. “análisis del esfuerzo cortante en la mampostería por medio del ensayo de corte diagonal en muretes construidos con unidadesh -10 y h-15”. Enero 14 de 2014. <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/1361>[Consulta: 20-06-2014].

Páez, D., Parra, S., Montaña, C., (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol.8 no.14. Recuperado desde: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000100005.

8. ANEXOS

ANEXO A-FORMATO DE TOMA DE DATOS DE PRISMAS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



Facultad de Ingeniería Civil
Departamento de Estructuras
Trabajo de Grado:

Fecha:

Montaje y Elaboración de Ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de Mampostería

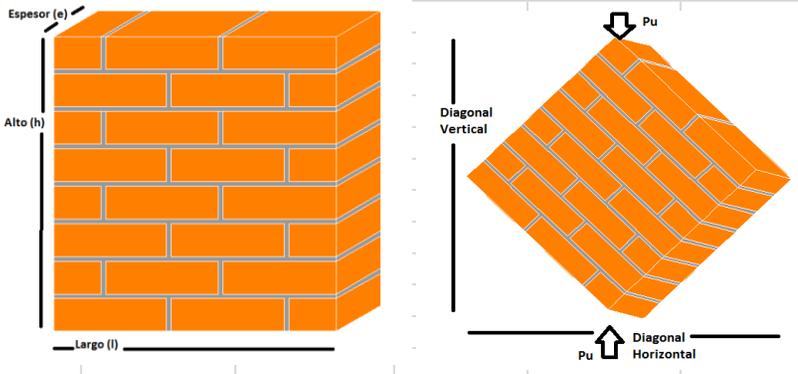
Ensayo: Compresión en prismas de Mampostería

PRISMA	ALTURA (h)				LARGO (l)			
	h1	h2	h3	Hprom	l1	l2	l3	lprom
1								
2								
3								
4								
5								
6								

PRISMA	ESPESOR (e)				Pu (KN)
	e1	e2	e3	Eprom	
1					
2					
3					
4					
5					
6					



ANEXO B-FORMATO DE TOMA DE DATOS DE LOS MURETES EN EL ENSAYO DE COMPRESION DIAGONAL

	Facultad de Ingeniería Civil			Fecha					
	Departamento de Estructuras								
	Trabajo de Grado:			<i>Montaje y Elaboración de Ensayos a Compresión en Prismas y Compresión Diagonal en Muretes de Mampostería</i>					
	Ensayo			Compresión Diagonal					
Toma de medidas									
Murete	Alto (cm)			Largo (cm)			Espesor (cm)		
	h1	h2	Promedio	l1	l2	Promedio	e1	e2	Promedio
1									
2									
3									
4									
5									
6									
Murete	Diagonal Vertical (cm)	Diagonal Horizontal (cm)	Pu (Kn)	Anexos					
1									
2									
3									
4									
5									
6									

