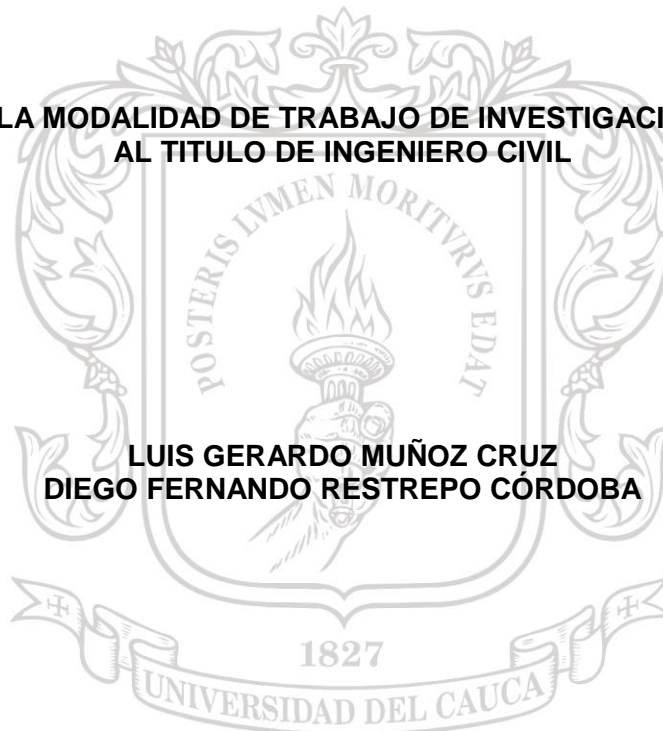


**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO MACIZO
FABRICADO EN LA CIUDAD DE POPAYÁN.**

**PROYECTO EN LA MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**



**LUIS GERARDO MUÑOZ CRUZ
DIEGO FERNANDO RESTREPO CÓRDOBA**

**DIRECTOR.
ING. ROGER ORTEGA**

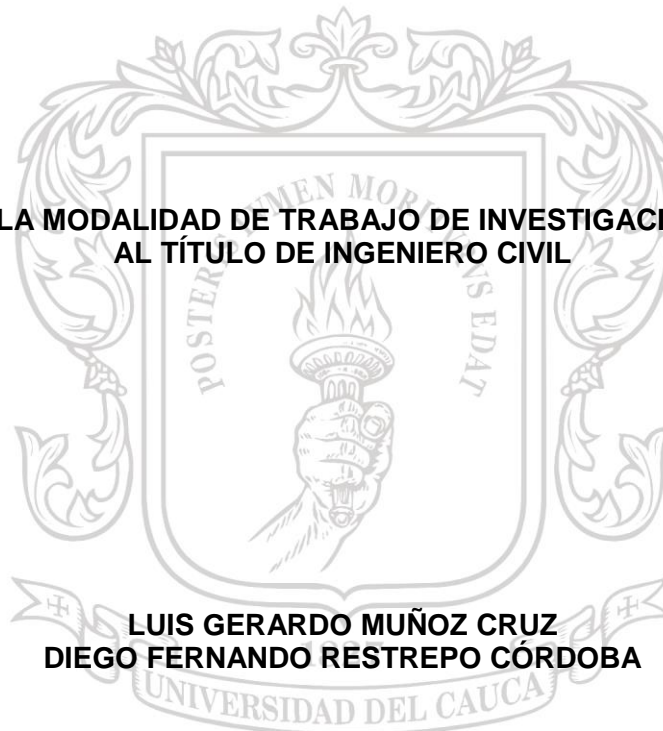
**Universidad
del Cauca**

**UNIVERSIDAD DELCAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2015**



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO MACIZO
FABRICADO EN LA CIUDAD DE POPAYÁN.**

**PROYECTO EN LA MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**



**LUIS GERARDO MUÑOZ CRUZ
DIEGO FERNANDO RESTREPO CÓRDOBA**

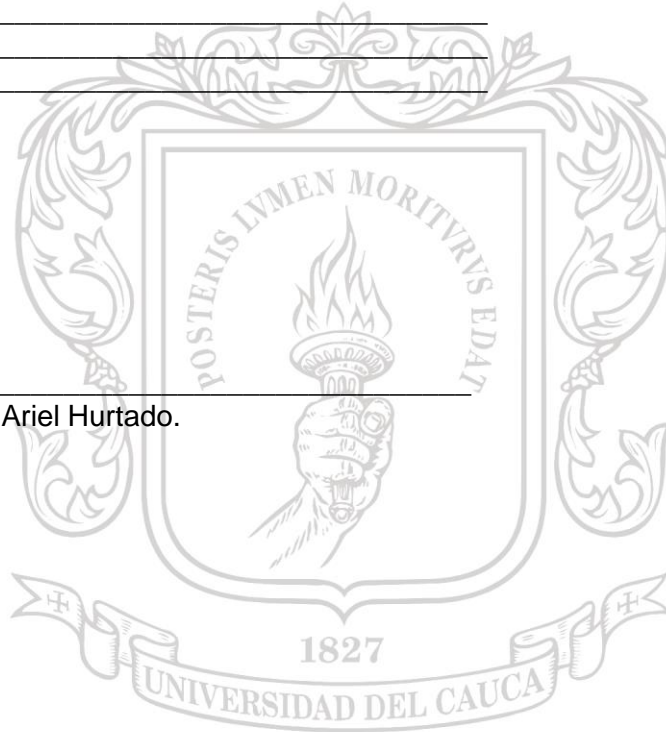
**Universidad
del Cauca**

**UNIVERSIDAD DELCAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2015**



NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado Ing. Carlos Ariel Hurtado.



Director Ing. Roger Ortega

Universidad del Cauca

Popayán, Noviembre de 2015.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a quienes les debo mi vida, las dos personas más importantes en mi vida, por las cuales trabajo día a día, quienes siempre me han apoyado e inculcado valores a lo largo de toda mi existencia y de manera indirecta hicieron posible esto. A mis hermanos y amigos que me alentaron en momentos difíciles y me brindaron sus experiencias y cariño de manera incondicional.

A Diego Restrepo, quien siempre mostro ser no solo mi compañero de trabajo de grado sino un gran amigo, trabajó arduamente a mi lado y estuvo siempre dispuesto a dar todo de sí para que alcanzáramos este propósito.

Al ingeniero Roger Ortega, quien nos brindó la oportunidad de realizar este proyecto, nos orientó y nos dio sus conocimientos, siempre encaminado hacia nuestro bienestar.

Luis Gerardo Muñoz C.

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mis padres por sus consejos, por la motivación constante, por ser ejemplo de perseverancia, disciplina, por enseñarme valores que me han permitido ser una persona de bien, y especialmente por su amor y apoyo incondicional.

A mis abuelitas quienes me fortalecen día y día con sus oraciones y sabios consejos.

A mi hermana quien me brinda todo su cariño, familiares, amigos y compañeros por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación.

A Luis Gerardo Muñoz por su dedicación, entrega y compromiso a lo largo de todo este tiempo, y fue quien hizo posible el desarrollo de todo este proyecto.

Al Ingeniero Roger Ortega, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y su motivación ha logrado en mí, que pueda terminar mis estudios con éxito.

Diego Fernando Restrepo C.

RESUMEN

En este trabajo de grado se realizó un estudio sobre la calidad de la mampostería de ladrillo macizo fabricado en la ciudad de Popayán, fundamentado en la realización de ensayos a compresión de prismas elaborados con unidades macizas de arcilla, provenientes de tres diferentes zonas de producción de ladrillo de la ciudad de Popayán. Los ensayos se realizaron sobre 18 prismas conformados por cinco unidades, cada uno, con mortero de pega tipo S, con el propósito de determinar la resistencia a la compresión de la mampostería, f_m , el módulo de la elasticidad y evaluar comparativamente su calidad. De las ladrilleras seleccionadas se tomó una muestra aleatoria de 50 unidades para la construcción de los prismas y también para realizar los ensayos individuales a compresión de las unidades. El mortero de pega también fue evaluado para definir su calidad y cumplimiento de acuerdo a las normas técnicas colombianas (NTC) y al reglamento de diseño sismo resistente de 2010 (NSR10). El nombre de las zonas de estudio, así como de las ladrilleras se reserva con el propósito de no afectarlas con los resultados obtenidos. Las probetas fueron construidas y curadas en el laboratorio de materiales, manteniendo lo más constante posible la variable mano de obra y tratando de simular las prácticas constructivas del medio. Los ensayos a compresión se realizaron en los laboratorios de materiales y de estructuras de la Facultad de ingeniería Civil.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados se registran y analizan para evaluar la calidad de la mampostería bajo el criterio de su resistencia a la compresión. También se elaboró un registro fotográfico de los ensayos realizados a las unidades, además de un video que presenta la forma y falla de algunos prismas, además de hacerse la comparación entre los resultados obtenidos en esta investigación y la realizada anteriormente en la Universidad del Cauca titulado "Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería" desarrollado por Lady Carolina Ibarra y Jesús David Peña en el 2014.

ABSTRACT

In this final undergraduate project, a study about the quality of solid brick masonry manufactured at Popayan (COL) was made; the work was based on the compression testing of prisms constructed of solid clay units, which come from three different areas of the city. Tests were carried out on eighteen prisms formed by five units, each with type S mortar, in order to obtain the compressive strength of masonry, f_m , the modulus of elasticity and compare their quality. Fifty units were randomly selected from brick factories to build the prisms and carry out compression tests individual units. The mortar also was tested to define its quality and fulfillment of the NTC rules and NSR10 regulations. The name of study areas, as well as the brickyards is reserved with the aim of will not affect them with the results. Test pieces were built and cured in the laboratory of materials, maintaining as constant as possible the manpower variable and trying to simulate construction practices of the medium. The compressional tests were performed in the material and structures laboratories of de Faculty of Civil Engineering.

The obtained results from the executed tests are registered and analyzed with the aim to evaluate the quality of the masonry under the compressional resistance criteria. A photographic record of the test units conducted, along with a video that shows the shape and failure of some prisms were made on this project, in addition, a comparison between the outcomes obtained in this study and the previously made by Lady Carolina Ibarra and Jesus David Peña in "Assembly and test development compressive prisms and diagonal compression in low walls of masonry" developed at University of Cauca in 2014 was made in this document.

Universidad
del Cauca

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	16
2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	17
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4. MARCO DE REFERENCIA.....	17
4.1 ANTECEDENTES.....	17
5. ESTADO DEL ARTE.....	19
6. MARCO TEORICO.....	20
6.1 DEFINICIONES.....	20
6.2 TIPOS DE LADRILLO.....	21
6.3 TIPOS DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.....	21
6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (F'M).....	24
6.5 MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERIA (E´M).....	26
7. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	26
7.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE L A UNIDAD DE MAMPOSTERIA.....	29
7.2 ELABORACION DEL MORTERO DE PEGA.....	34
7.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO A LA COMPRESION DE MORTEROS.....	39
7.4 FLUIDEZ Y RESISTENCIA A LA COMPRESION UTILIZADOS EN EL MORTERO DE PRISMAS.....	42
7.5 CONSTRUCCION DE PRISMAS.....	44
7.6 ELABORACION DE LOS PRISMAS.....	45
7.7 REFRENTADO DE PRISMAS.....	48
7.8 REFRENTADO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA.....	51
7.9 ENSAYOS A COMPRESION DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERIA.....	52
7.10 DATOS PRISMAS.....	54
7.11 DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO.....	55
7.12 DETERMINACION DEL MODULO DE LA ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERIA (E´M).....	68
7.13 ENSAYOS ADICIONALES.....	78
8. ANALISIS DE RESULTADOS.....	85
8.1 ANALISIS DE LA FLUIDEZ DEL MORTERO DE PEGA.....	85
8.2 ANALISIS DE LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE PEGA.....	85

8.3 ANALISIS DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA.....	87
8.4 ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN PRISMAS DE MAMPOSTERIA (F´M).....	89
8.5 ANALISIS DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERIA.....	92
9. FALLAS PRESENTADAS EN LOS ESPECIMENES DE ENSAYO.....	94
10. CONCLUSIONES.....	101
11. RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS POSTERIORES.....	104
12. BIBLIOGRAFIA	105
13. ANEXOS.....	107



Universidad
del Cauca

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona.....	30
Tabla 2. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona 2.....	31
Tabla 3. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona 3.....	32
Tabla 4. Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción. NSR-10.....	34
Tabla 5. Fluidez mezcla 1.....	38
Tabla 6. Fluidez mezcla 2.....	39
Tabla 7. Resistencia a la compresión, mezcla 1 a los 28 días.....	42
Tabla 8. Resistencia a la compresión, mezcla 2 a los 28 días.....	42
Tabla 9. Fluidez mezcla definitiva para construcción de prismas.....	43
Tabla 10. Resistencia a la compresión, mezcla definitiva a los 28 días.....	43
Tabla 11. Cantidad de material usado para la elaboración de la bachada.....	45
Tabla 12. Tolerancias constructivas para muros de mampostería. (NSR-10).....	46
Tabla 13. Relación de esbeltez y factor de corrección para los prismas. (NSR-10).....	54
Tabla 14. Dimensiones de los prismas.....	54
Tabla 15. Resultados Resistencia a la Compresión en prismas.....	55
Tabla 16. Módulo de elasticidad de la mampostería.....	78
Tabla 17. Características físicas de las unidades de mampostería zona 1.....	79
Tabla 18. Características físicas de las unidades de mampostería zona 2.....	80
Tabla 19. Características físicas de las unidades de mampostería zona 3.....	80
Tabla 20. Características físicas de las unidades de mampostería zona 4.....	81
Tabla 21. Características físicas de las unidades de mampostería industrial.....	82
Tabla 22. Valores típicos de fluidez y tipo de estructuras en las cuales son utilizados. Barrios Jaramillo Luis Hebert, Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural. Segunda edición. Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998.....	85
Tabla 23. Valores obtenidos de fluidez para el mortero de diseño y el utilizado en la pega de los prismas.....	85
Tabla 24. Resistencia del mortero de pega de diseño vs mortero de pega usado en prismas.....	86
Tabla 25. Resumen de las resistencias, valores promedio y desviación estándar para unidades de mampostería.....	87

Tabla 26. Densidades y resistencias promedio de las unidades de mampostería analizadas	88
Tabla 27. Resistencia a la compresión obtenida y especificada para unidades de mampostería, mortero de pega y prismas de mampostería.....	90
Tabla 28. Comparación de $f'm$ vs $f'cu$	91
Tabla 29. Variación de R_m respecto a $f'cu$ y $f'cp$	91



Universidad
del Cauca

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de unidades de mampostería de arcilla cocida. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).....	21
Figura 2. Mampostería reforzada. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).....	22
Figura 3. Mampostería no reforzada. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).....	23
Figura 4. Mampostería confinada (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).....	24
Figura 5. Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión en prismas. (Tomado de IBARRA, Lady y PEÑA Jesús. Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería”).....	25
Figura 6. Curva esfuerzo – deformación de unidades de mampostería. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).....	25
Fig. 7. Curva esfuerzo - deformación de prismas de mampostería. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco Mampostería estructural. 2003).....	26

Universidad
del Cauca

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Carga vs Deformación Prisma 1.....	59
Gráfica 2. Carga vs Deformación Prisma 2.....	59
Gráfica 3. Carga vs Deformación Prisma 3.....	60
Gráfica 4. Carga vs Deformación Prisma 4.....	60
Gráfica 5. Carga vs Deformación Prisma 5.....	61
Gráfica 6. Carga vs Deformación Prisma 6.....	61
Gráfica 7. Carga vs Deformación Prisma 7.....	62
Gráfica 8. Carga vs Deformación Prisma 8.....	62
Gráfica 9. Carga vs Deformación Prisma 9.....	63
Gráfica 10. Carga vs Deformación Prisma 10.....	63
Gráfica 11. Carga vs Deformación Prisma 11.....	64
Gráfica 12. Carga vs Deformación Prisma 12.....	64
Gráfica 13. Carga vs Deformación Prisma 13.....	65
Gráfica 14. Carga vs Deformación Prisma 14.....	65
Gráfica 15. Carga vs Deformación Prisma 15.....	66
Gráfica 16. Carga vs Deformación Prisma 16.....	66
Gráfica 17. Carga vs Deformación Prisma 17.....	67
Gráfica 18. Carga vs Deformación Prisma 18.....	67
Gráfica 19. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 1.....	69
Gráfica 20. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 2.....	69
Gráfica 21. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 3.....	70
Gráfica 22. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 4.....	70
Gráfica 23. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 5.....	71
Gráfica 24. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 6.....	71
Gráfica 25. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 7.....	72
Gráfica 26. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 8.....	72
Gráfica 27. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 9.....	73
Gráfica 28. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 10.....	73
Gráfica 29. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 11.....	74
Gráfica 30. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 12.....	74
Gráfica 31. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 13.....	75
Gráfica 32. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 14.....	75
Gráfica 33. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 15.....	76
Gráfica 34. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 16.....	76
Gráfica 35. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 17.....	77

Gráfica 36. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 18.....	77
Gráfica 37. Relación entre mortero de diseño vs mortero utilizado en prismas...	86
Gráfica 38. Comparación entre los valores obtenidos en el estudio, valores del estudio previo y norma NTC 4205.....	88
Gráfica 39. Resistencia a compresión y densidad de la unidad de mampostería.	89
Gráfica 40. Comparación de la resistencia de los prismas.....	89
Gráfica 41. Módulos de la mampostería teórico y experimental.....	93

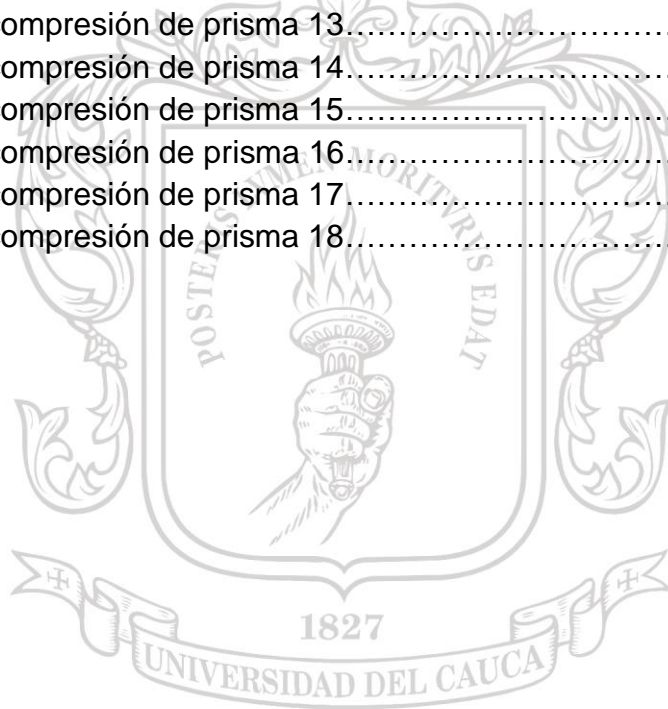


Universidad
del Cauca

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Ladrillera de producción artesanal. Zona 1.....	27
Foto 2. Ladrillera de producción artesanal. Zona 2.....	28
Foto 3. Ladrillera de producción artesanal. Zona 3.....	28
Foto 4. Falla de las unidades de mampostería.....	33
Foto 5. Falla de las unidades de mampostería.....	33
Foto 6. Falla de las unidades de mampostería.....	33
Foto 7. Arena de la región, fuente de donde se adquirió.....	36
Foto 8. Materiales para los ensayos de fluidez y resistencia.....	37
Foto 9. Mezcla mecánica de mortero.....	37
Foto 10. Medición diámetro, para fluidez.....	38
Foto 11. Ensayo de compresión sobre cubos de mortero.....	40
Foto 12. Falla de los cubos mezcla 1.....	41
Foto 13. Falla de los cubos mezcla 2.....	41
Foto 14. Adición de los materiales en la mezcladora para la preparación de la bachada de mortero de pega.....	45
Foto 15. Materiales utilizados para la elaboración de los prismas.....	47
Foto 16. Humedecimiento de unidades de mampostería.....	47
Foto 17. Ladrillos después de humedecerlos.....	47
Foto 18. Mezcladora mecánica utilizada para la preparación de la mezcla de mortero.....	48
Foto 19. Formaleta utilizada para la alineación y acomodo correcto de los ladrillos.....	48
Foto 20. Prismas refrentados con azufre.....	48
Foto 21. Proceso de calentamiento del azufre.....	50
Foto 22. Unidad de ladrillo refrentada con azufre.....	51
Foto 23. Refrentado de unidades de mampostería con yeso.....	51
Foto 24. Realización de la prueba piloto.....	52
Foto 25. Falla unidad de mampostería refrentada con yeso.....	83
Foto 26. Falla unidad de mampostería refrentada con yeso.....	83
Foto 27. Falla del ladrillo que se produce de manera industrial refrentado con yeso.....	84
Foto 28. Falla del ladrillo que se produce de manera industrial refrentado con yeso.....	84
Foto 29. Falla a compresión de prisma 1.....	94
Foto 30. Falla a compresión de prisma 2.....	94
Foto 31. Falla a compresión de prisma 3.....	95
Foto 32. Falla a compresión de prisma 4.....	95

Foto 33. Falla a compresión de prisma 5.....	95
Foto 34. Falla a compresión de prisma 6.....	96
Foto 35. Falla a compresión de prisma 7.....	96
Foto 36. Falla a compresión de prisma 8.....	96
Foto 37. Falla a compresión de prisma 9.....	97
Foto 38. Falla a compresión de prisma 10.....	97
Foto 39. Falla a compresión de prisma 11.....	97
Foto 40. Falla a compresión de prisma 12.....	98
Foto 41. Falla a compresión de prisma 13.....	98
Foto 42. Falla a compresión de prisma 14.....	98
Foto 43. Falla a compresión de prisma 15.....	99
Foto 44. Falla a compresión de prisma 16.....	99
Foto 45. Falla a compresión de prisma 17.....	99
Foto 46. Falla a compresión de prisma 18.....	100



Universidad
del Cauca

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de conocer la calidad de las unidades de mampostería que se utilizan cotidianamente en la ciudad de Popayán, se hace necesario evaluar algunos de sus parámetros, principalmente su resistencia a la compresión simple. Para esto se realizan ensayos sobre muestras representativas que permiten evaluar la calidad de estas, por dicha razón a lo largo de esta investigación se efectuaron varios ensayos a compresión sobre prismas (bloque de cinco unidades) y unidades de mampostería.

Para las pruebas a compresión de los prismas, fue necesario realizar previamente ensayos de compresión tanto al mortero de pega como a las unidades de mampostería. Para el mortero de pega se realizaron los ensayos de fluidez y resistencia a la compresión a los 28 días, esto con el fin de obtener un mortero de pega tipo S que cumpla con la resistencia que especifica el Reglamento NSR-10. Posteriormente a la evaluación de los morteros se sometieron a compresión las unidades y los prismas mediante una carga axial aplicada sobre la superficie de los mismos.

Se realizaron ensayos adicionales, a los previstos inicialmente, sobre 5 unidades para cada zona de estudio, como también de 5 unidades de perforación vertical producidas industrialmente y otras 5 unidades de mampostería maciza procedentes de otra fuente aparte de las zonas de estudio; esto con el propósito mejorar el tamaño de la muestra y comparar la diferencia entre diferentes tipos de unidades.

Para el capping de las unidades, además de utilizar azufre se usó yeso, material permitido para este uso por la norma NTC 4017, con el propósito de evaluar la variabilidad de resultados de las probetas refrentadas con azufre y las refrentadas con yeso y además evaluar la experiencia del uso de este material que presenta ventajas técnicas y económicas frente al azufre.

Finalmente se analizan y comparan los resultados obtenidos respecto a los requerimientos técnicos del reglamento NSR-10, las normas NTC 4017, NTC 4205, NTC 4026 y también con datos de referencia de otros estudios similares.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo es el comportamiento a la compresión de la mampostería de ladrillo macizo de arcilla producido en la ciudad de Popayán?

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general.

- Evaluar la resistencia a compresión de la mampostería de ladrillo macizo de arcilla fabricado en la ciudad de Popayán.

3.2 Objetivos específicos.

- Seleccionar tres ladrilleras representativas de la producción de unidades macizas de arcilla de la región y tomar muestras de su producto.
- Evaluar la resistencia de las unidades de mampostería y del mortero de pega.
- Construir y ensayar a compresión seis prismas de mampostería para cada una de las ladrilleras seleccionadas.
- Evaluación y análisis comparativo de resultados.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 Antecedentes

NAVAS CARRO, Alejandro. Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. San José de Costa Rica. 2007.

En este artículo se presenta un estudio sobre el efecto de la resistencia de los bloques, el mortero de pega y el concreto de relleno sobre la resistencia a la compresión de la mampostería de bloques de concreto. Se presenta también la relación existente entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión de la mampostería.

LUZURIAGA, German; UREÑA, Juan. Tesis análisis del comportamiento mecánico de mampostería no reforzada de bloque prensado bajo cargas de compresión axial y diagonal. Quito. 2007.

Este trabajo enfocó su estudio en conocer el comportamiento de mampostería no reforzada al ser sometida a cargas de compresión axial y diagonal, dada la falta de información sobre la calidad en este material muy utilizado en obras civiles, con lo cual logró caracterizar las propiedades de resistencia de estos materiales en ese país.

SANCHEZ, Ana; MEJIA, Fredy. Tesis 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.

Este estudio se realizó con el fin de evaluar la calidad de la mampostería de una ladrillera de la ciudad de Bucaramanga, trabajando para ello con unidades de mampostería E-9, E-11- y E-14, perteneciente al casco urbano de esta ciudad.

GUTIERREZ JUNCO, Oscar Javier. Mampostería estructural. Santa Fe de Bogotá. Universidad de los Andes. 2003.

Este trabajo presenta los problemas y soluciones del sistema estructural conocido como mampostería, el cual da una perspectiva clara y ordenada sobre el análisis y diseño con base en mampostería estructural.

BARRIOS JARAMILLO, Luis Hébert. Tesis Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural. Santa Fe de Bogotá. Universidad de los Andes. 1998.

En esta edición se muestra la manera de cómo realizar cada ensayo correspondiente a unidades de mampostería y a la misma, con el fin de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes materiales usados en su elaboración.

PEÑA, Jesús; IBARRA, Lady. Tesis Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería. Popayán. 2013.

Esta investigación se realizó con el fin de conocer las características de resistencia tanto a compresión diagonal (cortante), como de resistencia a la compresión para con esto poder evaluar la calidad de la mampostería fabricada en una ladrillera de la ciudad.

5. ESTADO DEL ARTE.

Tanto a nivel internacional como nacional se han venido llevando a cabo estudios e investigaciones sobre el comportamiento de los materiales utilizados en construcción de edificaciones, tanto de sus características físicas como mecánicas, de los cuales las unidades de mampostería y la mampostería ha sido uno de los sistemas al cual se han venido estudiando ya desde muchos años y debido a que su uso se ha generalizado en todo el país. Muchos de estos estudios realizados a nivel nacional se han originado en las grandes ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga que han sido pioneras en estos aspectos, de las cuales se tienen mayores referencias. En nuestro medio se tiene poca o nula información de estudios que se hayan hecho con anterioridad, exceptuando la investigación realizada en el año 2014 en la facultad de ingeniería civil de la Universidad del Cauca realizado por los estudiantes Carolina Ibarra y Jesús Peña acerca del comportamiento a compresión y cortante de la mampostería, es por esto que se hace sumamente necesario disponer de información que nos ayude a conocer las características de los materiales con los cuales se trabaja en la ciudad, pues, el crecimiento de esta se encuentra asociado principalmente a obras que se elaboran a base de mampostería, debido a su tradición histórica y cultural, además de la poca inversión en gran infraestructura tanto por parte del estado como de empresas privadas que se hace en la región. Cabe mencionar que en la ciudad, dentro de los ensayos realizados a materiales de construcción que ofrecen los laboratorios comerciales, excepto en pocas ocasiones, no se tiene ensayos a la calidad de la mampostería como tal, lo que demuestra la falta de controles técnicos para la calidad de la misma y evidencia el desconocimiento con el cual se construyen obras con este sistema estructural.

Otro de los aspectos a tener en cuenta para la producción de ladrillo es la falta de tecnificación que se presenta en la región, pues en su gran mayoría, las ladrilleras no cuentan con los equipos y maquinaria necesaria para la elaboración de las unidades de mampostería, lo cual nos lleva a una producción artesanal y de la cual no se vislumbra control alguno de calidad, hecho que confirma una vez más que se debe investigar acerca de este material.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Definiciones.

El ladrillo es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen rondar 24 cm x 11 cm x 7 cm, puede ser macizo (tolete) o con perforaciones verticales u horizontales.

Murete o prisma — Ensamble de piezas de mampostería con mortero de pega inyectadas o no de mortero de relleno usado como espécimen de ensayo para determinar las propiedades de la mampostería

Muro estructural — Elemento estructural de longitud considerable con relación a su espesor, que atiende cargas en su plano adicionales a su peso propio.

Muro no estructural — Elemento dispuesto para separar espacios, que atiende cargas únicamente debidas a su peso propio.

6.1.1 Mampostería estructural.

La mampostería es un sistema estructural que utiliza bloques de materiales tales como concreto, ladrillo, piedra, adobe, etc., unidos entre sí mediante alguna forma de mortero para formar elementos constructivos más complejos, por ejemplo muros. Dependiendo de ciertos factores se consideran tres tipos de mampostería: mampostería simple, mampostería parcialmente reforzada, y mampostería reforzada.

6.1.2 Mampostería simple.

Generalmente se utilizan bloques de un tamaño tal que pueden ser manejados manualmente, tienen muy buena resistencia a esfuerzos de compresión pero muy baja a los de tracción. No se permite su uso en zonas de amenaza sísmica alta.

6.1.3 Mortero.

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes. Los más comunes son los de cemento y están compuestos por cemento, agregado fino y agua. Generalmente, se utilizan para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.

6.2 Tipos de ladrillo.

Unidades de mampostería de perforación vertical (ladrillos) (PV): unidades cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a la cara o superficie en que se asientan en el muro. El área neta de las celdas o perforaciones, medida en cualquier sección perpendicular a sus ejes, no puede ser superior al 65% del área bruta en esa misma sección.

Unidades de mampostería de perforación horizontal (bloques) (PH): unidades cuyas celdas o perforaciones son paralelas a la cara o superficie en que se asientan en el muro.

Unidades Macizas (ladrillos) (M): mampuestos aligerados con pequeñas perforaciones que ocupan menos del 25% de su volumen o, también, que no contienen ninguna perforación.



Fig. 1. Tipos de unidades de mampostería de arcilla cocida. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).

6.3 TIPOS DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL

6.3.1 MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA — Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas ó no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES). D.2.1.1.

6.3.2 MAMPOSTERÍA REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo. D.2.1.2.

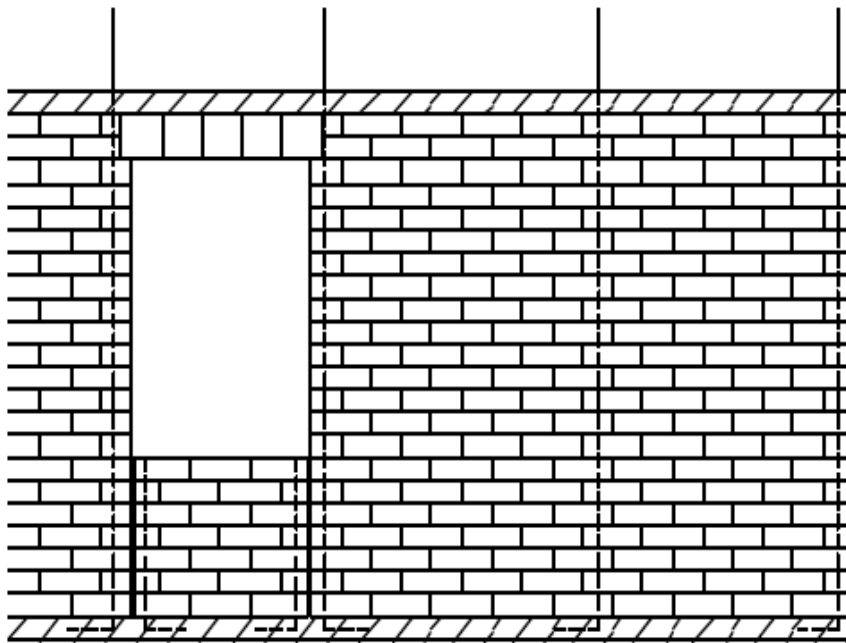


Fig. 2. Mampostería reforzada. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).

6.3.3 MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO). D.2.1.3.

6.3.4 MAMPOSTERÍA NO REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI). D.2.1.4.

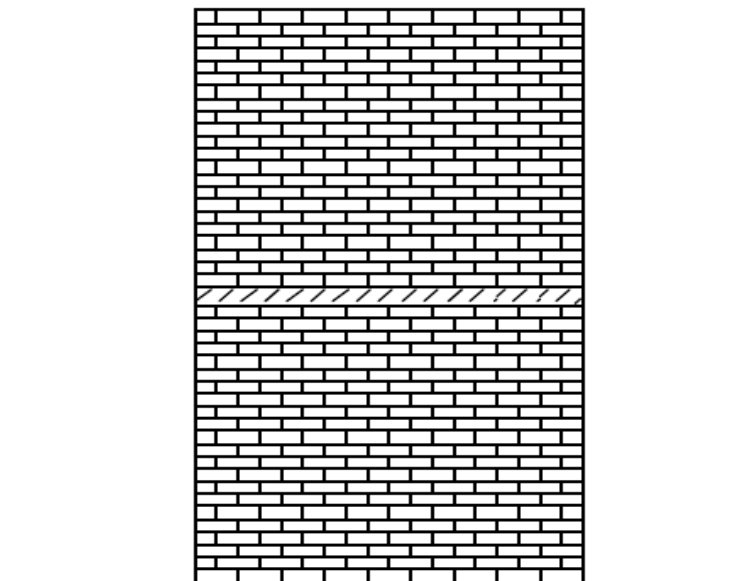


Fig. 3. Mampostería no reforzada. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).

6.3.5 MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple los requisitos del capítulo D.10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO). D.2.1.5.

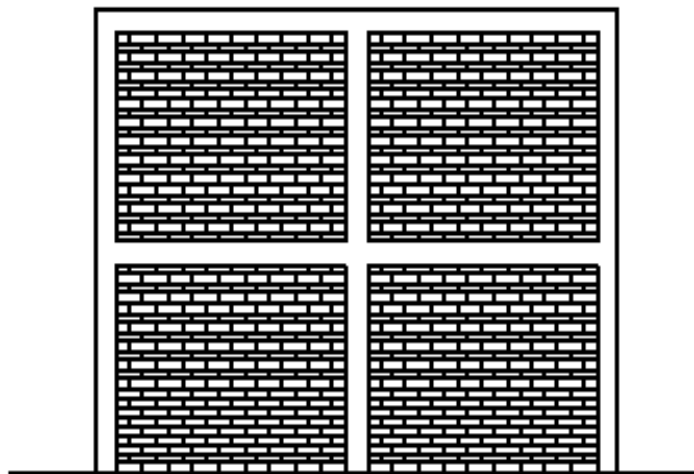


Fig. 4. Mampostería confinada (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003).

6.3.6 MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA — Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Los muros diafragma deben cumplir los requisitos del capítulo D.11. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo sólo se permite dentro del alcance del Capítulo A.10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica. D.2.1.6.

6.3.7 MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE — Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos y cumple con los requisitos descritos en D.12. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI) D.2.1.7.

6.4 Resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m).

Resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m) — Mínima resistencia nominal de la mampostería a compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño.

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 el 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 el reglamento NSR – 10, título D, mampostería estructural:

- Por medio de registros históricos D.3.7.3
- Por determinación experimental sobre muretes de prueba D.3.7.3.
- Por medio de ensayos sobre materiales individuales D.3.7.5.

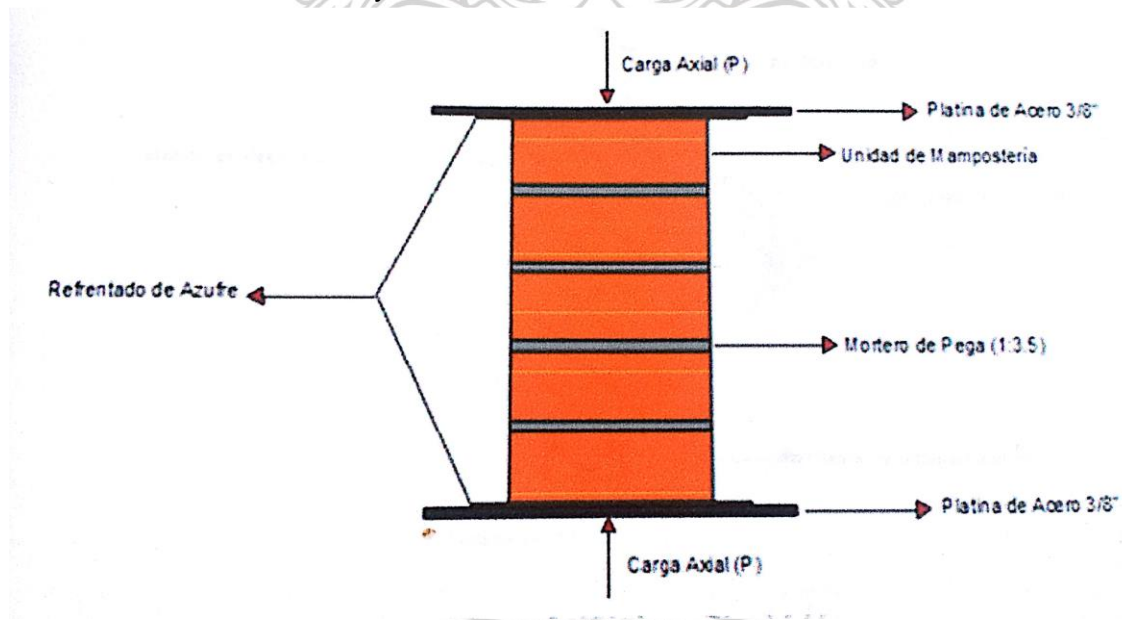


Fig. 5. Diagrama explicativo de la resistencia a la compresión en prismas. (Tomado de IBARRA, Lady y PEÑA Jesús. Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería”).

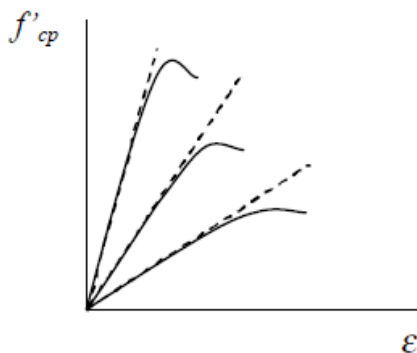


Fig. 6. Curva esfuerzo – deformación de unidades de mampostería. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco. Mampostería estructural. 2003)

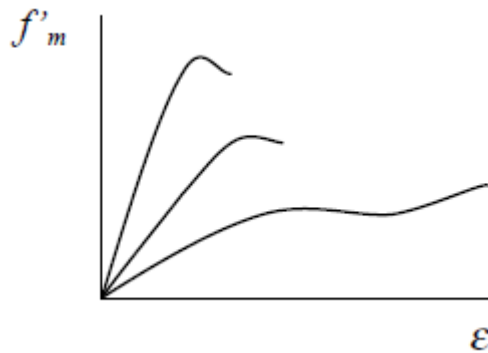


Fig. 7. Curva esfuerzo - deformación de prismas de mampostería. (Tomado de Oscar Javier Gutiérrez Junco Mampostería estructural. 2003).

6.5 Módulo de elasticidad de la mampostería (E_m)

El valor para el módulo de elasticidad de la mampostería se debe establecer por medio de ensayos de laboratorio de los prismas fabricados y ensayados, calculado en la curva esfuerzo- deformación obtenida en el ensayo la pendiente de la secante desde $0.05 f'_m$ hasta $0.33 f'_m$.

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 pueden emplearse:

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

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

7. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo de este proyecto se obtuvieron muestras representativas de tres zonas de producción de ladrillo en la ciudad de Popayán, de las cuales se reserva su nombre y ubicación con fines de confidencialidad. De tales muestras se elaboraron los prismas que fueron ensayados posteriormente a las pruebas de resistencia a la compresión individual de las unidades de mampostería.

También se trabajó con muestras adquiridas en distribuidores de la ciudad que ofertan los productos elaborados de manera industrial, con el propósito de comparar su calidad de acuerdo a su método de producción (artesanal o industrial).

Cabe aclarar que las muestras se seleccionaron de ladrilleras al azar de cada una de las zonas de estudio y se adquirieron comprándolas directamente a sus fabricantes sin informar a estos el destino de las muestras o que su uso era con fines investigativos de la calidad del material, con lo cual se asegura que los especímenes individuales fueron representativos, en cierta medida del carácter aleatorio de la calidad de las unidades.

Enseguida se presentan algunas imágenes de las fuentes de donde se obtuvieron los especímenes de prueba.



Foto 1. Ladrillera de producción artesanal. Zona 1.

del Cauca



Foto 2. Ladrillera de producción artesanal. Zona 2.



Foto 3. Ladrillera de producción artesanal. Zona 3.

7.1 Resistencia a la compresión de la unidad de mampostería.

Para cada zona de estudio se ensayaron diez mitades, con la altura y ancho de la unidad completa, mientras su longitud igual a la mitad de la longitud de la unidad, más o menos 25mm, tal como se especifica en la NTC 4017. Posteriormente se determinaron las dimensiones de cada espécimen. Para las mitades de cada zona se colocó el refrentado de azufre en las caras de cada muestra. Para la colocación del refrentado se tuvo en cuenta que el grosor de la capa de azufre fuera aproximadamente igual; las superficies opuestas estuvieran aproximadamente paralelas, después de esto se procedió a ensayarlas, se cargó lentamente la máquina, desde cuando el bloque superior tomó contacto total con la superficie de la máquina, posteriormente se aplicó la carga hasta la mitad de la carga máxima esperada, a una velocidad adecuada, seguido a esto se ajustaron los controles de la máquina, de manera que la carga restante se aplicara a una velocidad uniforme durante no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.

Comparando los resultados de las diez muestras ensayadas con los obtenidos en el trabajo realizado anteriormente en la universidad (Ibarra & Peña, 2014), se observó una variación importante, por lo cual se decidió aumentar el número de unidades a ensayar. Se aumentaron cinco unidades a cada zona, totalizando quince especímenes. Para estas cinco unidades adicionales no se utilizó azufre como material de refrentado sino yeso de alta resistencia, con una proporción en peso de 380 gramos de yeso por 280 de agua, es decir 1: 0.74, dosificación que garantizaban el cumplimiento de la resistencia exigida por la norma en lo que respecta a este material. Para la colocación del refrentado se tuvo en cuenta que el grosor de la capa de yeso fuera aproximadamente igual y las superficies opuestas estuvieran aproximadamente paralelas, condiciones muy similares a las descritas para el refrentado con azufre. Se cambió de material de refrentado por dos razones, la primera para evaluar la influencia del tipo de capping en la resistencia y la segunda por la mayor facilidad de este procedimiento.

A continuación se detallan los resultados obtenidos, dentro de los cuales se incluye una numeración específica para cada fuente, siendo en esta los 10 primeros (1 – 10) la ladrillera de una zona específica, llamada de ahora en adelante Z1 (zona1), los diez siguientes (11 – 20) corresponden a Z2 (zona 2) y los diez finales (21 – 30) serán de Z3 (zona 3).

A continuación los resultados:

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z1	1	11,5	11	121,80	38,90	3,19
		11,7	10			
	PROMEDIO	11,6	10,5			
	2	12	11,1	131,50	47,50	3,61
		11,8	11			
	PROMEDIO	11,9	11,05			
	3	11,3	10,8	122,06	51,60	4,23
		11,2	10,9			
	PROMEDIO	11,25	10,85			
	4	11,3	10,9	123,75	38,90	3,14
		11,2	11,1			
	PROMEDIO	11,25	11			
	5	11,6	11	125,95	37,60	2,99
		11,3	11			
	PROMEDIO	11,45	11			
	6	11,5	11	124,85	39,80	3,19
		11,2	11			
	PROMEDIO	11,35	11			
	7	11,1	10,8	119,31	35,20	2,95
		11,2	10,6			
	PROMEDIO	11,15	10,7			
	8	11,6	10	121,28	50,10	4,13
		11,5	11			
	PROMEDIO	11,55	10,5			
	9	11,1	11	124,30	36,60	2,94
		11,5	11			
	PROMEDIO	11,3	11			
	10	11	11	118,13	33,80	2,86
		11,5	10			
	PROMEDIO	11,25	10,5			
TOTAL Z1				PROMEDIO	3,32	
				DESVIACIÓN ESTANDAR	0,47	
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN	14,21%	

Tabla 1. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona 1.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z2	11	12	11,1	132,60	56,90	4,29
		12	11			
	PROMEDIO	12	11,05			
	12	11,2	10,5	117,08	54,20	4,63
		11,1	10,5			
	PROMEDIO	11,15	10,5			
	13	11,5	10,7	121,48	46,70	3,84
		11,1	10,8			
	PROMEDIO	11,3	10,75			
	14	10,8	10,6	113,41	72,00	6,35
		10,7	10,5			
	PROMEDIO	10,75	10,55			
	15	11,3	10,3	115,88	38,90	3,36
		11,2	10,3			
	PROMEDIO	11,25	10,3			
	16	11,3	10,4	116,34	43,80	3,76
		11,4	10,1			
	PROMEDIO	11,35	10,25			
	17	12,1	10,6	132,37	48,70	3,68
		12,3	11,1			
PROMEDIO	12,2	10,85				
18	11,3	11	122,08	37,50	3,07	
	11,1	10,8				
PROMEDIO	11,2	10,9				
19	11	10,6	116,05	39,90	3,44	
	11	10,5				
PROMEDIO	11	10,55				
20	11,6	10,6	123,01	75,70	6,15	
	11,5	10,7				
PROMEDIO	11,55	10,65				
TOTAL Z2				PROMEDIO		4,26
				DESVIACIÓN ESTANDAR		1,08
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN		25,45%

Tabla 2. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona 2.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z3	21	11,2	11	121,52	59,80	4,92
		11,2	10,7			
	PROMEDIO	11,2	10,85			
	22	11,7	11,2	128,15	42,20	3,29
		11,6	10,8			
	PROMEDIO	11,65	11			
	23	11,4	11,2	128,21	39,00	3,04
		11,7	11			
	PROMEDIO	11,55	11,1			
	24	11,5	11,4	131,08	27,50	2,10
		11,7	11,2			
	PROMEDIO	11,6	11,3			
	25	11,6	11,1	129,90	48,00	3,70
		11,7	11,2			
	PROMEDIO	11,65	11,15			
	26	11,5	11,3	128,23	43,90	3,42
		11,5	11			
	PROMEDIO	11,5	11,15			
	27	11,4	11,2	128,23	27,90	2,18
		11,6	11,1			
	PROMEDIO	11,5	11,15			
28	11,3	11,3	127,69	27,30	2,14	
	11,4	11,2				
PROMEDIO	11,35	11,25				
29	13	11,5	150,65	46,80	3,11	
	13,2	11,5				
PROMEDIO	13,1	11,5				
30	11,5	11,3	129,38	47,20	3,65	
	11,5	11,2				
PROMEDIO	11,5	11,25				
TOTAL Z3				PROMEDIO		3,15
				DESVIACIÓN ESTANDAR		0,83
				COEFICIENTE DE VARIACIÓN		26,28%

Tabla 3. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión en unidades de mampostería zona 3.

A continuación se presentan algunas imágenes de la forma como fallaron las unidades de mampostería.



Foto 4. Falla de las unidades de mampostería.



Foto 5. Falla de las unidades de mampostería.



Foto 6. Falla de las unidades de mampostería.

7.2 Elaboración del mortero de pega.

Para su elaboración se buscó obtener un mortero de pega tipo S, que según el reglamento NSR-10 (Tabla 2. Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción. NSR-10) tiene una resistencia mínima de 12.5 MPa y máxima de 17,5 MPa a los 28 días, que cumple las exigencias para ser usado en la pega de mampostería, también se trató de simular las condiciones de preparación del mortero como habitualmente se hace en obra; se probó con varias proporciones en cuanto a cemento, arena y agua cumpliendo con lo que establece la norma con valores permisibles máximos y mínimos, también se realizaron ensayos preliminares a los 7 días con el fin de estimar una posible resistencia a los 28 días, con estas proporciones. Finalmente para obtener el mortero tipo S se realizaron 2 ensayos con 2 proporciones diferentes de cemento, arena y agua a los 28 días, para tratar de cumplir con la resistencia y la fluidez deseadas. Una vez conocidas las proporciones adecuadas para el mortero tipo S, se elaboró el mismo para proceder al armado de los prismas.

Tabla D.3.4-1
Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad ⁽¹⁾			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa ⁽²⁾	Flujo en (%) ⁽³⁾	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada ⁽⁴⁾	Cemento para Mampostería ⁽⁷⁾	Arena/Material Cementante ⁽⁵⁾	
							Min.	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 ⁽⁶⁾	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Tabla 4. Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción. NSR-10

7.2.1 Mezcla mecánica.

Para obtener el mortero de pega, se dejó inicialmente secar la arena al sol, debido a que presentaba un alto porcentaje de humedad, la cual afectaba directamente en el ensayo de fluidez realizado al mortero. Cuando la arena se secó se procedió a seleccionarla pasándola por el tamiz #4 con el fin de separar materiales gruesos presentes en esta. Se realizaron varios ensayos de fluidez con diferentes

proporciones cumpliendo con los valores especificados por la norma. Las proporciones fueron en masa. Para realizar la mezcla se siguió el procedimiento descrito en la norma INV E 321 07.

7.2.1.1 Equipo utilizado

1. Mezcladora mecánica
2. Paleta mezcladora
3. Recipiente de mezcla
4. Balanza
5. Probetas.

7.2.1.2 Procedimiento de la mezcla mecánica

Se realizaron varias mezclas, asumiendo la relación agua – cemento para tratar de cumplir la fluidez deseada. De todas formas si la mezcla cumple con fluidez, eso no garantiza que la mezcla cumpla con la resistencia, es por eso que se realizaron varias mezclas para poder determinar las proporciones de esta. Primero se colocó la mezcladora junto con el agua en posición de trabajo, siguiendo la norma INV E 321 07. Después se agregó en proporción el cemento al agua y se dejó reposar durante 30 segundos, seguido se mezcló a una velocidad lenta (140 más o menos 5 rpm) durante 30 segundos, se agregó la arena lentamente en un tiempo de 30 segundos, mientras la mezcladora funcionaba a velocidad lenta. Se detuvo la mezcladora y se cambió la velocidad a rápida (285 más o menos 10 rpm) y se mezcló durante 30 segundos. Se volvió a detener la mezcladora por 90 segundos de los cuales en los 15 primeros, se raspó rápidamente el mortero que estaba adherido en las paredes. Después se tapó el recipiente, y se mezcló a velocidad rápida (285 más o menos 10 rpm) durante 60 segundos.

7.2.2 Ensayo de fluidez.

De acuerdo con la norma INV E 325 07 se realizó el ensayo de fluidez con el fin de garantizar que las mezclas elaboradas a los 28 días cumplieran con una fluidez de 110% - 120% que especifica la NSR 10 para mortero de pega tipo S.

7.2.2.1 Equipo utilizado

1. Mesa de flujo
2. Molde con forma de tronco de cono recto
3. Calibrador
4. Compactador

5. Palustre
6. Metro.

7.2.2.2 Procedimiento

Se limpió la superficie de la mesa de flujo, posteriormente sobre esta se colocó el molde con forma de tronco de cono recto en el centro. Después se llenó con una capa de mortero de 25mm aproximadamente, el cual tiene las proporciones de mezcla propuestas para obtener la resistencia deseada. Se apisonó con 20 golpes uniformemente distribuidos sobre toda la superficie, con la segunda capa se llenó el molde y se apisonó de la misma forma que la primera capa, se retiró el exceso de mortero en el molde y se enrasó la superficie con el palustre. Después de terminada esta operación, se levantó el molde y se dejó caer la mesa de flujo desde una altura de 12.7mm (1/2") 25 veces durante 15 segundos. Posteriormente se midió el diámetro de la base de la muestra en cuatro puntos equidistantes y se calculó el diámetro promedio.

A continuación algunos registros fotográficos de los materiales utilizados y procedimiento de este ensayo.



Foto 7. Arena de la región, fuente de donde se adquirió.



Foto 8. Materiales para los ensayos de fluidez y resistencia.



Foto 9. Mezcla mecánica de mortero.



Foto 10. Medición diámetro, para fluidez.

A continuación los resultados para cada mezcla, para el ensayo de fluidez.

Mezcla 1

Proporciones. 1 : 2.5 : 0.7 (Cemento, Arena y Agua)

Cemento = 200g

Arena = 500g

Agua = 140cm³

Medición diámetro	Diámetro (mm)
1	212
2	210
3	215
4	213
Promedio	213
Desviación estándar	1.80
Coefficiente de Variación	0,85%

Tabla 5. Fluidez mezcla 1

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

$$Fluidez = \frac{212.5 - 100}{100} * 100 = 113 \%$$

Mezcla 2

Proporciones. 1 : 3 : 0.82 (Cemento, Arena y Agua)

Cemento = 190g

Arena = 570g

Agua = 156cm³

Medición diámetro	Diámetro (mm)
1	220
2	218
3	215
4	217
Promedio	217.5
Desviación estándar	1.80
Coefficiente de Variación	0,83%

Tabla 6. Fluidez mezcla 2

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

$$Fluidez = \frac{217.5 - 100}{100} * 100 = 117.5 \%$$

Como la fluidez cumplió para las dos mezclas entonces se procedió a la elaboración de los cubos para su ensayo a la compresión a los 28 días.

7.3 Procedimiento ensayo de resistencia a la compresión de morteros.

Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento establecido por la norma INV E 323 07 para resistencia a la compresión en morteros de cemento hidráulico.

7.3.1 Equipo utilizado

1. Molde
2. Compactador
3. Palustre
4. Máquina universal

Cada mezcla se realizó de manera mecánica para obtener el mortero con las proporciones indicadas anteriormente. A cada molde se le aplicó sobre toda la superficie de contacto una capa de aceite mineral, después se colocó este molde

sobre una placa plana, no absorbente, también cubierta con una capa de aceite. Seguido se preparó el mortero en un tiempo no mayor de 2 minutos con 30 segundos después de terminada la mezcla, se llenaron los compartimientos con capas de 25mm (1") de espesor, los cuales se apisonaron con 32 golpes en 10 segundos aplicados sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes cada una. Posteriormente se siguió con la segunda capa y se hizo lo mismo que con la primera. Al finalizar la compactación se enrasaron las caras superiores de los cubos y se retiró el mortero sobrante con el palustre.

Después se almacenaron los moldes en un lugar seco y sin exposición al sol durante 24 horas, para luego desencofrar los cubos de cada mezcla para dejarlos sumergidos en agua – cal saturada durante 28 días más como lo especifica la norma, dentro del tanque de almacenamiento, construido de material no corrosivo en el laboratorio de materiales de la Universidad del Cauca.

Para el ensayo de compresión se les aplico una carga de 900 N/segundo, donde la proporción de movimiento se obtiene durante la primera mitad de la carga máxima.



Foto 11. Ensayo de compresión sobre cubos de mortero.



Foto 12. Falla de los cubos mezcla 1.



Foto 13. Falla de los cubos mezcla 2.

La resistencia a la compresión se determinó con la carga máxima entre el área bruta del cubo de mortero.

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

f'_{cp} = Resistencia a la compresión en MPa.

P = Carga máxima total en N.

A = Área de la superficie cargada en mm².

A continuación en las tablas 5 y 6 se muestran las resistencias que se obtuvieron para las 2 mezclas.

Cubo	Lado1 (cm)	Lado2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	f'cp (MPa)	
1	5.3	5.2	27.56	2756	52.2	52200	18.94	
2	5.3	5.2	27.56	2756	51.3	51300	18.61	
3	5.3	5.2	27.56	2756	53.2	53200	19.30	
							Promedio	18.95
							Desviación estándar	0.28
							Coef. de variación	1,48%

Tabla 7. Resistencia a la compresión, mezcla 1 a los 28 días.

Cubo	Lado1 (cm)	Lado2 (cm)	Área (cm ²)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	f'cp (MPa)	
1	5.2	5.2	27.04	2704	35.3	35300	13.05	
2	5.2	5.2	27.04	2704	38.5	38500	14.24	
3	5.1	5.2	26.52	2652	36.5	36500	13.76	
							Promedio	13.68
							Desviación estándar	0.49
							Coef. de variación	3,58%

Tabla 8. Resistencia a la compresión, mezcla 2 a los 28 días.

En base a estos resultados se decidió trabajar con la mezcla 2 cuyas proporciones en masa son 1 : 3 : 0.82 (Cemento, Arena y Agua) las cuales cumplen la resistencia requerida de 12.5 MPa para un mortero tipo S ya que con esto se garantiza que las resistencias se encuentran en el rango 12.5 MPa – 17.5 MPa.

7.4 Fluidez y resistencia a la compresión del mortero utilizado en prismas.

Para la construcción de los prismas se tomó una muestra de mortero de pega de la bachada realizada, con el fin de verificar que efectivamente se estuviera cumpliendo con la fluidez anteriormente determinada y la resistencia a la compresión que se deseaba para trabajar con un mortero de pega tipo S.

Para el ensayo de fluidez se obtuvo:

Proporciones. 1 : 3 : 0.82 (Cemento, Arena y Agua)

Cemento = 1200 g

Arena = 3600 g

Agua = 984 cm³

Medición diámetro	Diámetro (mm)
1	215
2	213
3	212
4	213.5
Promedio	213.4
Desviación estándar	1.08
Coefficiente de Variación	0,51%

Tabla 9. Fluidéz mezcla definitiva para construcción de prismas.

$$Fluidéz = \frac{Diametro\ promedio - Diametro\ base\ inferior\ del\ molde}{Diametro\ base\ inferior\ del\ molde} * 100$$

$$Fluidéz = \frac{213.4 - 100}{100} * 100 = 113.4\%$$

Para el ensayo resistencia a la compresión del mortero a los 28 días se obtuvo:

Cubo	Lado1 (cm)	Lado2 (cm)	Area (cm ²)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Carga (N)	f'cp (MPa)
1	5.1	5.15	26.27	2627	36.5	36500	13.89
2	5.2	5.2	26.78	2678	38.6	38600	14.41
3	5.1	5.2	2730	2730	35.3	35300	12.93
						Promedio	13.74
						Desviación estándar	0.61
						Coef. variación	4,44%

Tabla 10. Resistencia a la compresión, mezcla definitiva a los 28 días.

Como se esperaba tanto la fluidéz como la resistencia a la compresión de los morteros cumplió con todo lo que se buscaba respecto a los ensayos que anteriormente se habían realizado.

7.5 Construcción de prismas

Las condiciones en las cuales se realizó la construcción de los prismas y que se registraron gracias a los instrumentos del laboratorio de materiales fueron la temperatura ambiente con un valor de 22°C y la humedad en el ambiente de 45%.

7.5.1 Equipo utilizado

1. Mezcladora con capacidad de 14 kg
2. Balanza
3. Nivel
4. Probetas de 1000 ml
5. Palustre
6. Caneca metálica
7. Carreta
8. Balde
9. Recipientes de aluminio
10. Manguera
11. Tablas

7.5.2 Elaboración de la bachada de mortero de pega

Se elaboró una bachada de mortero para la pega de los ladrillos que conformarían los prismas, conforme la dosificación obtenida previamente en los ensayos del mortero. Esta se encontraba dosificada en masa de acuerdo a las siguientes cantidades: una parte de cemento por tres de arena de río y 0,82 de agua (1:3:0,82), hecho que garantizó el cumplimiento de las características establecidas en el reglamento NSR-10, para un mortero de pega tipo S.

La cuantificación del volumen de mortero a preparar se hizo de la siguiente manera:

Tomando como área de aplicación del mortero sobre el ladrillo un ancho de 11cm y un largo de 24cm y considerando un espesor máximo del mortero de pega de 1,4cm se calculó el volumen por capa de mortero y sabiendo que para cada prisma se requieren 4 capas se obtuvo un volumen de mezcla de 1478,4 cm³ para cada prisma, obteniendo así para el total de 20 prismas un volumen de mezcla de 29568cm³, más un desperdicio del 5% se tiene que el volumen total es 31046cm³ o 31,05dm³, ahora, sabiendo que la gravedad específica del mortero es cercana a 1850 kg/m³ o 1,85 kg/dm³ se tiene un total de mezcla de 57,4 Kg. Con las proporciones de la mezcla se hace un tanteo fijando una cantidad de cemento y se obtienen las cantidades finales de material, las cuales se presentan a continuación:

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	12 Kg
Arena de rio	36 Kg
Agua	9,84 L

Tabla 11. Cantidad de material usado para la elaboración de la bachada.

La mezcla de estos materiales se hizo de manera mecánica, utilizando la mezcladora perteneciente al laboratorio de materiales, siguiendo el procedimiento que se realiza normalmente para este tipo de prácticas.

7.6 Elaboración de los prismas

Se elaboraron seis prismas, los cuales estaban constituidos por cinco unidades de mampostería, pegadas con mortero de proporciones 1:3 con un espesor de pega de $1\pm 0,4$ cm. En total se construyeron 18 prismas, seis por cada zona de estudio, conservando las mismas condiciones de fabricación, mano de obra y calidad del mortero. Adicionalmente se fabricaron dos prismas más para ensayos preliminares que permitieran conocer la velocidad de aplicación de la carga y probar la operación de la maquina universal.



Foto 14. Adición de los materiales en la mezcladora para la preparación de la bachada de mortero de pega.

De acuerdo a la relación altura/espesor de los prismas el cual debe estar entre 1,3 y 5,0, se utilizó un prisma representativo de cada zona Z1, Z2 y Z3, obteniendo con esto valores para dicha relación de 3,40; 3,14 y 3,5 para cada zona de estudio respectivamente, con lo cual se cumplió lo establecido por el reglamento NSR-10.

Antes de realizarse la pega de las unidades de mampostería para la construcción del prisma se procedió a humedecer estas unidades durante un tiempo aproximado

de 1 hora, esto con el fin de simular las condiciones manejadas en obra y evitar que los ladrillos pudieran generar una deshidratación al mortero de pega debido a la absorción que presenta este tipo de material.

Para la construcción de estos prismas se ubicó una superficie aparentemente plana donde se localizó la formaleta que sirvió de guía para ir ubicando uno a uno los ladrillos y la capa de mortero que los unía, haciendo uso de una cinta métrica, se corroboró que el espesor de las capas de mortero estuviera dentro de la tolerancia del reglamento NSR 10 descrita en la tabla D.4.2-2, al igual que la verticalidad y la correcta nivelación sobre la superficie de cada ladrillo.

Tabla D.4.2-2
Tolerancias constructivas para muros de mampostería

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

Tabla 12. Tolerancias constructivas para muros de mampostería. (NSR-10)

Posterior a su construcción se procedió a transportarlos y almacenarlos en las instalaciones del laboratorio de materiales donde permanecieron en curado por un tiempo de un mes y medio aproximadamente, hasta el día del ensayo de compresión, de esta manera se cumplió con lo establecido por el reglamento, pues esta especifica que el curado se debe hacer a una temperatura de 21 ± 5 °C. No se realizó ningún procedimiento adicional de humedecer los prismas, puesto que el reglamento no lo menciona, además con esto se pretendió simular las condiciones reales a las cuales se ve expuesto este sistema constructivo en nuestra localidad, ya que el curado no se hace de manera especial ni con un control estricto de la temperatura.



Foto 15. Materiales utilizados para la elaboración de los prismas.



Foto 16. Humedecimiento de unidades de mampostería.



Foto 17. Ladrillos después de humedecerlos.



Foto 18. Mezcladora mecánica utilizada para la preparación de la mezcla de mortero.



Foto 19. Formaleta utilizada para la alineación y acomodo correcto de los ladrillos.

7.7 Refrentado de prismas



Foto 20. Prismas refrentados con azufre.

El refrentado se realizó con el propósito de obtener una superficie horizontal y completamente lisa para cada uno de los prismas así como también de las unidades de mampostería, para tal fin hubo la necesidad de seleccionar uno de los materiales de los cuales la norma NTC 4017 establece adecuados para realizar este procedimiento, azufre o yeso, de los cuales se tomó como primera opción el azufre debido a que es un material con el cual ya se cuenta con vasta experiencia en el laboratorio de materiales y el personal tiene a su manejo los procedimientos y equipos necesarios para hacer este tipo de refrentado sin ninguna complicación.

La totalidad de prismas elaborados fueron refrentados con azufre, buscando siempre que la superficie quedara lo más nivelada posible y con un espesor considerable que garantizara la correcta aplicación de carga sobre toda el área de contacto.

Este procedimiento se realizó en las instalaciones del laboratorio de materiales de la universidad del cauca, a manos de los estudiantes Luis Gerardo Muñoz y Diego Fernando Restrepo, contando con la colaboración del personal perteneciente a este laboratorio.

Para la correcta ejecución de este procedimiento se hizo necesaria la utilización de herramientas y equipos propios de este laboratorio, los cuales se numeran a continuación:

7.7.1 Equipo e insumos utilizados

1. Palustre
2. Placa metálica
3. Guías de hierro
4. Estufa
5. Cucharon metálico
6. Recipiente de aluminio para calentar el azufre
7. Guantes de cuero
8. Tapabocas
9. Nivel
10. Aceite

7.7.2 PROCEDIMIENTO



Foto 21. Proceso de calentamiento del azufre.

Como primera medida, antes de realizar el procedimiento se hizo la verificación de contar con todos y cada una de las herramientas e insumos necesarios, como también de las medidas de seguridad necesarias para evitar posibles inconvenientes, en las cuales cabe destacar el uso de tapabocas y ropa que brindaba protección para todo el cuerpo.

Seguido a esto se procedió a calentar el azufre en el recipiente de aluminio, haciendo uso de la estufa eléctrica, hasta el punto que este paso de estado sólido a estado líquido y se procedió a realizar el vaciado sobre el molde previamente armado mediante guías metálicas, teniendo en cuenta para esto las dimensiones del ladrillo, que garantizaran un completo recubrimiento sobre la superficie del mismo; seguido se situó el prisma de manera vertical, verificando con el nivel que presentara horizontalidad y cuidando que el espesor de la capa de azufre fuera el adecuado, se esperó unos segundos a que la capa de azufre se consolidara y se procedió a separar el prisma del molde. El procedimiento se realizó de igual manera para la cara opuesta del prisma y para los restantes.

7.8 Refrentado de las unidades de mampostería



Foto 22. Unidad de ladrillo refrentada con azufre.

Para las unidades de mampostería se procedió de manera similar que para el refrentado de los prismas, en lo que difirió fue en el material utilizado, ya que una parte de la muestra se elaboró con refrentado de azufre mientras la otra se hizo con yeso de alta resistencia como lo menciona la norma NTC 4017. Para las unidades refrentadas con azufre se procedió tal cual como para los prismas, siguiendo la misma metodología y procedimiento; mientras que para las unidades refrentadas con yeso se realizó un procedimiento diferente; descrito a continuación.

7.8.1 PROCEDIMIENTO



Foto 23. Refrentado de unidades de mampostería con yeso.

Primero se hizo la medición de las cantidades de agua y yeso a utilizar, en unas proporciones ya establecidas de acuerdo a quienes hicieron el ensayo (Geofísica), las cuales aseguraban que se cumplía la resistencia exigida por la norma NTC 4017 en lo referente a la utilización de este material; se procedió a mezclar los insumos y a realizar la colocación del yeso sobre la superficie de cada unidad por ambos lados de las caras en contacto con la máquina de ensayo, con la ayuda de un molde elaborado con las guías metálicas usadas para el refrentado de prismas, se niveló y se esperó un tiempo para que este seca y pudiera ser transportado al sitio de almacenamiento.

7.9 ENSAYOS DE COMPRESION 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 prismas de mampostería

7.9.1 PRUEBA PILOTO



Foto 24. Realización de la prueba piloto.

Se realizó una prueba piloto con la finalidad de conocer la velocidad de carga adecuada a aplicar a los prismas durante el ensayo, como también para conocer el funcionamiento y manejo de la máquina universal y adoptar una logística en cuanto al manejo de los equipos de filmación y registro de la información. Esta prueba se hizo con dos prismas, uno correspondiente a Z1 y el otro a Z2, con lo cual se obtuvo unos valores de carga y deformación, mediante el software utilizado en la máquina universal y se registró los valores de deformación leídos en el deformímetro, como también la carga máxima soportada, con el propósito de hacer una comparación entre lecturas.

7.9.1.1 EQUIPOS Y ELEMENTOS VARIOS

Para la ejecución de esta prueba se contó con:

1. Deformímetros
2. Flexómetro
3. Nivel
4. Cronometro
5. Maquina universal
6. Cámara fotográfica
7. Videgrabadora
8. Libro de borrador
9. Formatos para registro de información

7.9.1.2 Procedimiento del ensayo

Se midió la longitud del prisma en el centro y en los cuartos del extremo del prisma con una aproximación de 1 mm y con estas dimensiones se obtuvo el promedio, de similar manera se trabajó con las dos dimensiones restantes, ancho y largo.

Para la ubicación del prisma en la máquina universal se colocó de forma vertical entre las placas de carga superior e inferior y se verificó que la aplicación de la fuerza se diera de manera uniforme sobre la totalidad de la superficie.

Para la aplicación de la carga se efectuó como lo explica la norma NTC 3495, teniendo en cuenta que esta se aplicara hasta la mitad de la carga máxima esperada a una velocidad constante y de manera que la mitad restante se aplicara en un tiempo comprendido entre uno y dos minutos.

El registro de las deformaciones y cargas se realizó por dos métodos: mediante la utilización del software realizado por los estudiantes de automática Marta Agredo y Julián Quintana, quienes sistematizaron el funcionamiento de la maquina universal del laboratorio de estructuras, el cual permite obtener las gráficas carga deformación directamente en un archivo de Microsoft Excel; la otra forma mediante el registro con una cámara videgrabadora, la cual filmó las deformaciones medidas por el deformímetro instalado sobre la máquina universal y a su vez las lecturas de carga suministradas por esta, esto con el fin de conocer la variación de los resultados obtenidos mediante el software y las lecturas del deformímetro y poder efectuar una comparación sobre la similitud o diferencia de resultados.

Posterior a esto se calculó la relación de esbeltez, es decir, la relación entre la altura y el espesor del prisma (H_p/E_p) para encontrar el factor de corrección, de acuerdo con la tabla N° 11, dado que los datos obtenidos entre los rangos establecidos en la tabla, se hizo una interpolación lineal y finalmente se multiplico la resistencia a la compresión de cada prisma por este factor.

Tabla D.3.7-1
Factor de corrección por esbeltez para f'_m

Relación altura/espesor del murete	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

Tabla 13. Relación de esbeltez y factor de corrección para los prismas. NSR 10.

7.10 Datos de los prismas

Proc.	Prisma	Largo (cm)				Espesor (cm)				Alto (cm)			
		L1	L2	L3	Lm	E1	E2	E3	Em	H1	H2	H3	Hm
Z1	1	22,8	22,6	23,1	22,8	11,2	11,1	11,3	11,2	38,1	38,7	38,6	38,5
	2	22,5	22,3	22,4	22,4	11	11,5	11	11,2	37,6	37,3	37,3	37,4
	3	22,5	22,8	23	22,8	11	11,2	11,4	11,2	38	38,2	37,8	38
	4	22,6	22,5	22,7	22,6	11,1	11,3	11,1	11,2	38	37,6	37,7	37,8
	5	22,8	22,5	22,6	22,6	11,2	11,1	11	11,1	38,6	38	38,3	38,3
	6	22,6	22,5	22,5	22,5	11,1	11,1	11,2	11,1	37,8	37,7	37,9	37,8
Z2	7	23,2	23,3	22,9	23,1	11,1	11,4	11	11,2	36	35,9	35,9	35,9
	8	22,8	23,5	23,5	23,3	11,4	11,3	11,1	11,3	35,9	36,1	35,8	35,9
	9	23,5	23,5	23,1	23,4	11,5	11,1	11	11,2	35,7	35,7	35,5	35,6
	10	23,3	22,6	23,2	23	11	11,5	11,6	11,4	35,5	35,3	35,2	35,3
	11	23,2	23,8	22,8	23,3	11,4	11,1	11,3	11,3	35	35,5	35,8	35,4
	12	23,3	23,3	23,2	23,3	11,5	11,5	11,4	11,5	35,7	35,3	35,4	35,5
Z3	13	21,6	21,7	21,3	21,5	11,1	11,2	11,2	11,2	39,4	38,8	38,9	39
	14	21,6	21,7	21,2	21,5	11,1	10,8	10,9	10,9	38,8	39,3	38,8	39
	15	21,8	21,2	21	21,3	11,1	10,8	11,5	11,1	38,6	38,7	38,6	38,6
	16	21,6	21,4	20,6	21,2	11,1	11	10,5	10,9	37,6	37,8	37,5	37,6
	17	21,6	21,4	21,2	21,4	11,1	10,8	11,1	11	38,1	37,9	37,8	37,9
	18	21,3	21,3	21	21,2	11	10,8	10,7	10,8	37,9	37,6	38	37,8

Tabla 14. Dimensiones de los prismas.

7.11 Datos obtenidos en laboratorio

PRISMA N°	ÁREA (cm ²)	Pu (KN)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'm (MPa)	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDA f'm (MPa)	f'm (PROMEDIOX0,75)
1	258.72	55.25	6.46	2.136	1.11	2.370	1.837
2	250.88	45.3	6.68	1.806	1.1	1.986	
3	255.36	47.55	6.65	1.862	1.1	2.048	
4	253.12	63.25	2.83	2.499	1.1	2.749	
5	250.86	63.85	2.48	2.545	1.11	2.825	
6	249.75	61.75	3.36	2.472	1.1	2.720	
PROMEDIO						2.220	2.450
DESVIACIÓN ESTANDAR							0.338
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							13.80%
7	258.72	61.1	2.45	2.362	1.09	2.574	1.583
8	263.29	52.9	7.69	2.009	1.08	2.170	
9	262.08	47	4.61	1.793	1.08	1.937	
10	262.2	53.6	5.73	2.044	1.08	2.208	
11	263.29	45.3	6.74	1.721	1.08	1.858	
12	267.95	47.5	6.20	1.773	1.08	1.915	
PROMEDIO						1.950	2.110
DESVIACIÓN ESTANDAR							0.245
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							11.61%
13	240.8	62.8	2.82	2.608	1.11	2.895	2.248
14	234.35	63.9	2.97	2.727	1.12	3.054	
15	236.43	61.75	3.15	2.612	1.11	2.899	
16	231.08	61.1	2.26	2.644	1.11	2.935	
17	235.4	64.75	2.58	2.751	1.11	3.053	
18	228.96	65	2.26	2.839	1.11	3.151	
PROMEDIO						2.697	2.998
DESVIACION ESTANDAR							0.095
COEFICIENTE DE VARIACIÓN							3.17%

Tabla 15. Resultados Resistencia a la Compresión en prismas.

La resistencia específica a la compresión de la mampostería (f'm), se obtuvo de dividir la carga última sobre el área neta de la cara en contacto de cada prisma ensayado.

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

Donde:

f'm: Resistencia específica a la compresión del prisma

P: Carga vertical máxima aplicada perpendicularmente

A: Área de aplicación de la carga

De acuerdo a los valores promedio obtenidos de manera experimental para la resistencia a la compresión de la mampostería ($f'm$), para cada zona de estudio se tiene:

Para Z1: $f'm = 2.45$ MPa.

Para Z2: $f'm = 2.11$ MPa.

Para Z3: $f'm = 3.00$ MPa.

Y conforme lo establece el título D, del reglamento NSR 10, en su numeral D.3.7.2.2, que dice “el valor de $f'm$, para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de tres (3) muretes (prismas) de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125 por ciento del menor valor obtenido de los ensayos”, los valores de $f'm$ cumplen con esta condición ya que:

Para Z1: $2.45 \text{ MPa} < 1.25 \cdot (1.99)$

Para Z2: $2.11 \text{ MPa} < 1.25 \cdot (1.86)$

Para Z3: $3.00 \text{ MPa} < 1.25 \cdot (2.90)$

Por lo anterior se puede establecer el cumplimiento de la norma y se garantiza la validez de los datos.

Ahora bien, de acuerdo al numeral D.3.7.4, el cual nos dice como determinar experimentalmente $f'm$, se tiene que para la cantidad de especímenes ensayados, en este caso seis (6), el valor de $f'm$ corresponde al 75% del valor promedio de los ensayos realizados, con lo cual, las resistencias a la compresión para las distintas zonas serían:

Para Z1: $f'm = 2.45$ MPa.

$$f'm = 0,75 \times (2.45 \text{ MPa})$$

$$f'm = 1.84 \text{ MPa}$$

Para Z2: $f'm = 2.11$ MPa.

$$f'm = 0,75 \times (2.11 \text{ MPa})$$

$$f'm = 1.58 \text{ MPa}$$

Para Z3: $f'm = 3.00$ MPa.

$$f'm = 0,75 \times (3.00 \text{ MPa})$$

$$f'm = 2.25 \text{ MPa}$$

La otra forma de determinar el valor de $f'm$ es utilizar la expresión consignada en el numeral D.3.7.5 del reglamento NSR 10, en donde a partir de la calidad de los materiales usados para la elaboración de los prismas se puede determinar la resistencia a la compresión de la siguiente manera:

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'cu + \left(\frac{50 K_p}{75+3h} \right) f'cp \leq 0,8 f'cu \quad (\text{D.3.7} - 1)$$

Donde:

R_m : Resistencia de la mampostería

h : Altura de la unidad de mampostería

$f'cu$: Resistencia específica 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 específica a la compresión del mortero de pega

Reemplazando en la ecuación D.3.7 – 1 los valores obtenidos en los ensayos realizados y conforme al reglamento NSR 10 se tiene:

Para Z1:

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

$$f'cu = 3.29 \text{ MPa}$$

$K_p = 0,8$ --- Para unidades de arcilla o sílico - calcáreas

$f'cp = 13.68 \text{ MPa}$ (mortero de pega usado en prismas)

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'cu + \left(\frac{50 K_p}{75+3h} \right) f'cp \leq 0,8 f'cu$$

$$R_m = 3.54 \text{ MPa} \leq 2.63 \text{ MPa}$$

Entonces $f'm$ es igual a:

$$f'm = 2,63 \text{ MPa}$$

Para Z2:

$$h = 71 \text{ mm}$$

$$f'_{cu} = 3.70 \text{ MPa}$$

$K_p = 0,8$ --- para unidades de arcilla o sillico - calcáreas

$$f'_{cp} = 13.68 \text{ MPa (mortero de pega usado en prismas)}$$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50 K_p}{75+3h} \right) f'_{cp} \leq 0,8 f'_{cu}$$

$$R_m = 3.72 \text{ MPa} \leq 2.96 \text{ MPa}$$

Entonces f'_m es igual a:

$$f'_m = 2,96 \text{ MPa}$$

Para Z3:

$$h = 68 \text{ mm}$$

$$f'_{cu} = 3.37 \text{ MPa}$$

$K_p = 0,8$ --- para unidades de arcilla o sílico - calcáreas

$$f'_{cp} = 13.68 \text{ MPa (mortero de pega usado en prismas)}$$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50 K_p}{75+3h} \right) f'_{cp} \leq 0,8 f'_{cu}$$

$$R_m = 3.60 \text{ MPa} \leq 2.70 \text{ MPa}$$

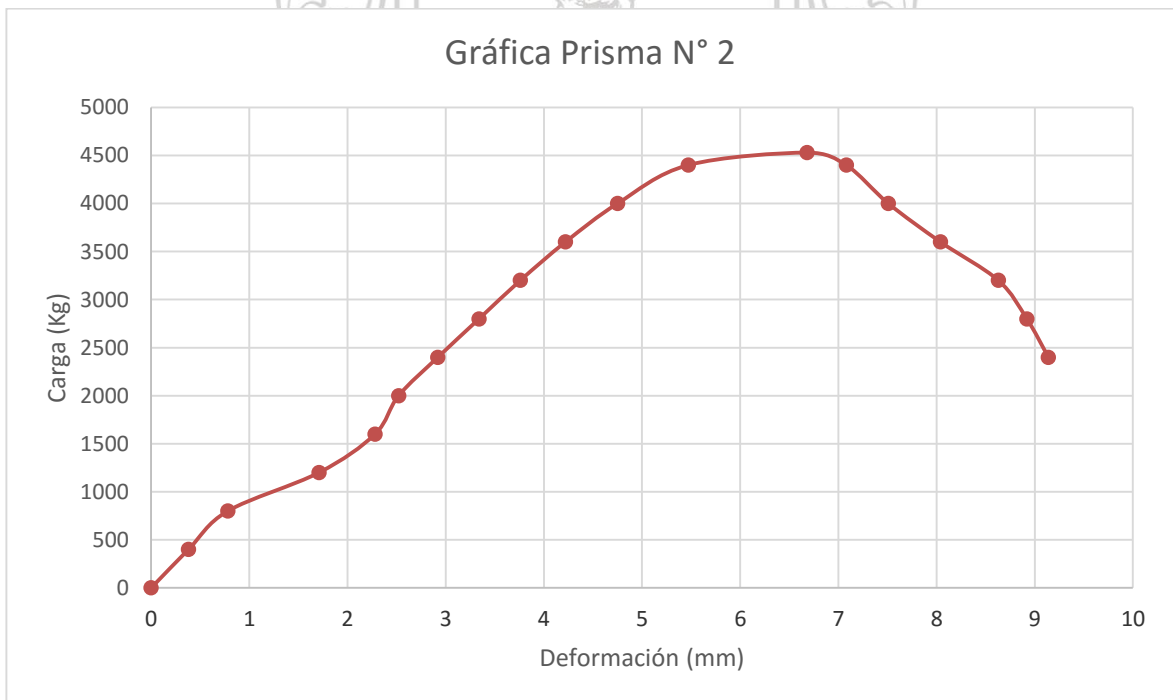
Entonces f'_m es igual a:

$$f'_m = 2,70 \text{ MPa}$$

Mediante los equipos de filmación se obtuvieron videos de los ensayos realizados a los prismas, de los cuales se registraron los datos de carga y deformación correspondientes a cada espécimen, los cuales se graficaron y se muestran a continuación.



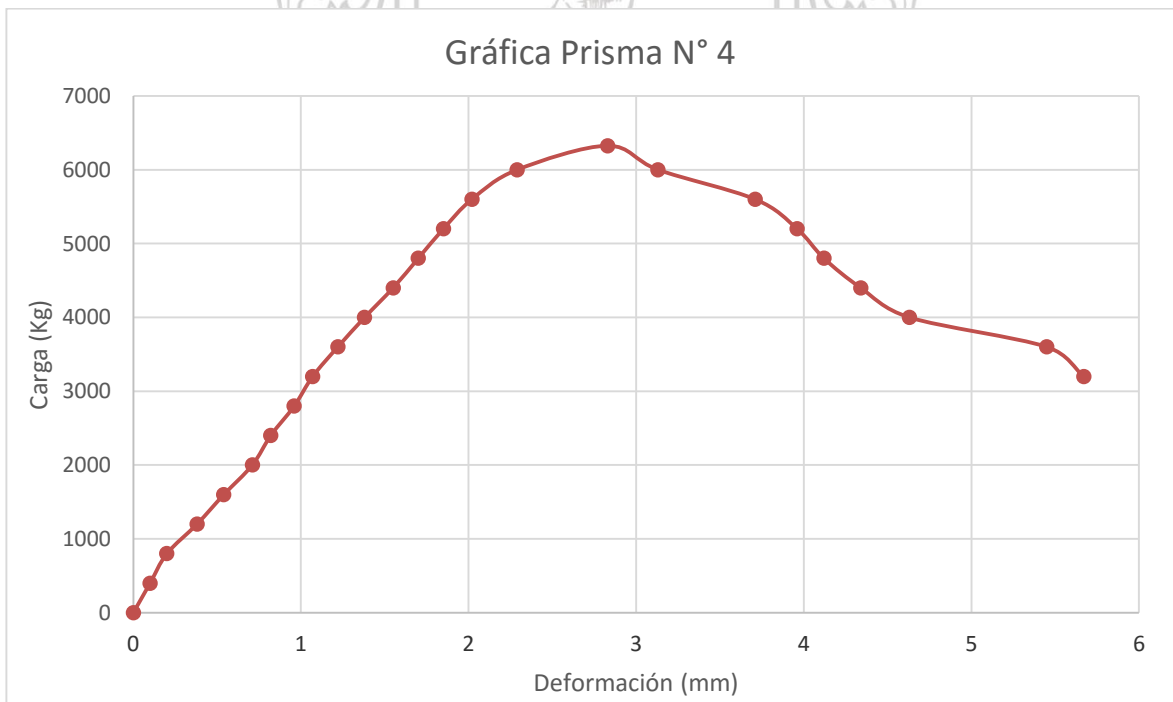
Gráfica 1. Carga vs Deformación Prisma 1



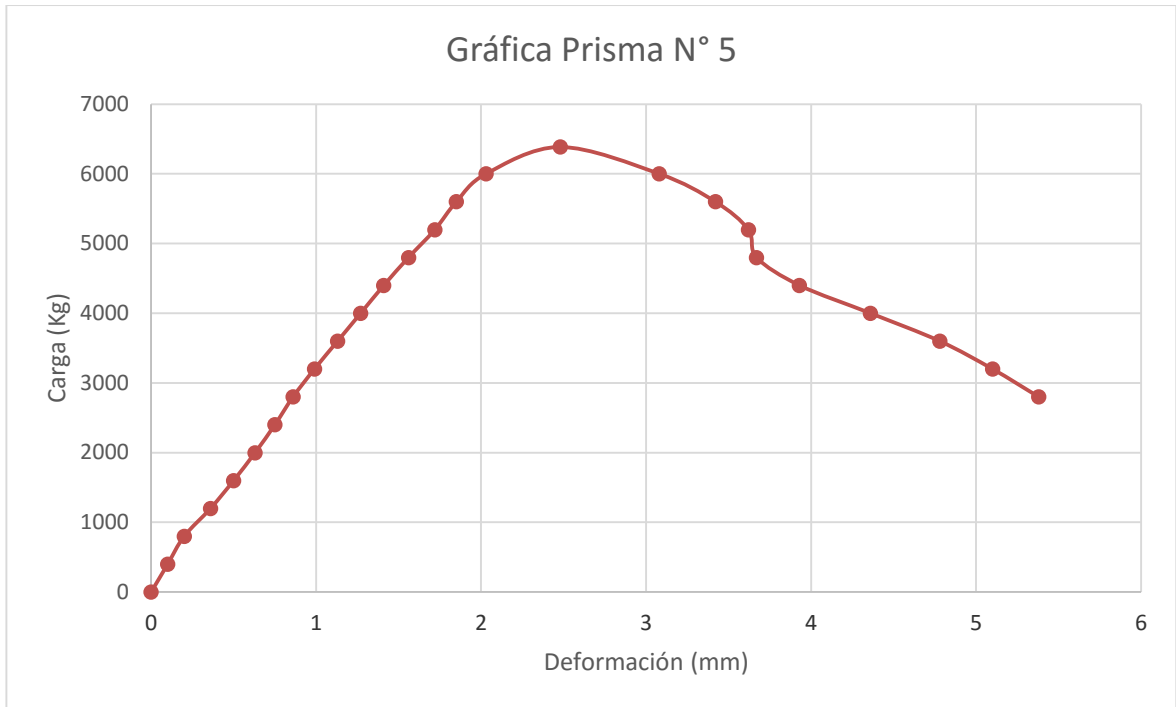
Gráfica 2. Carga vs Deformación Prisma 2



Gráfica 3. Carga vs Deformación Prisma 3



Gráfica 4. Carga vs Deformación Prisma 4



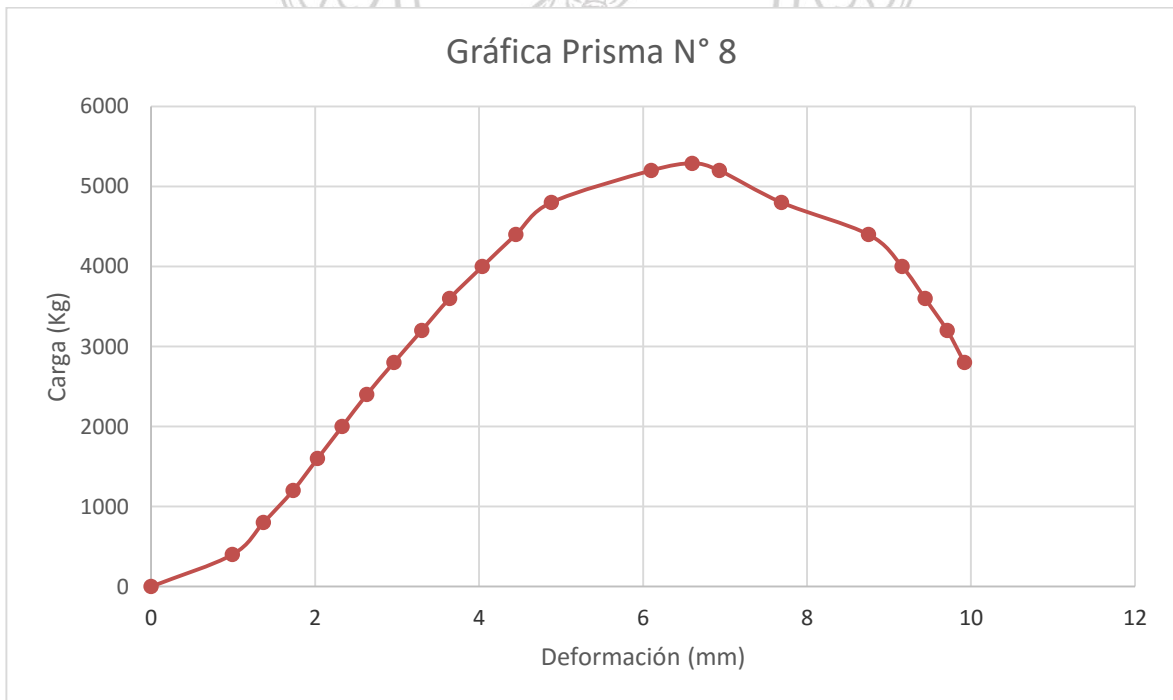
Gráfica 5. Carga vs Deformación Prisma 5



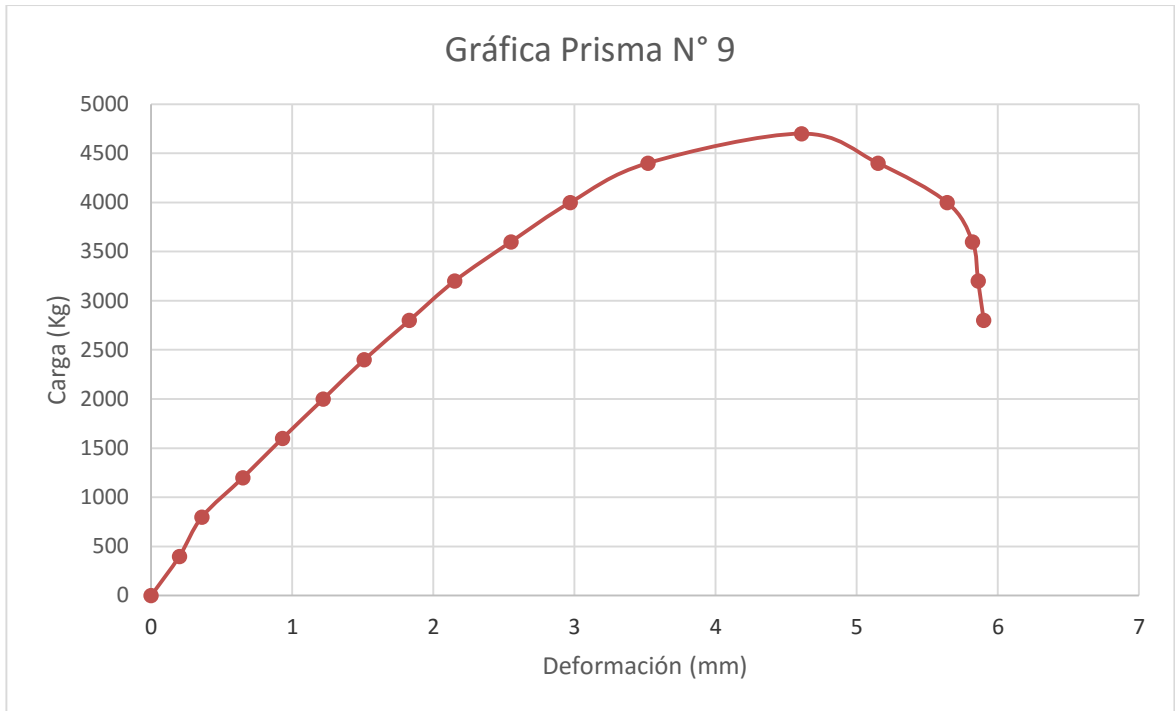
Gráfica 6. Carga vs Deformación Prisma 6



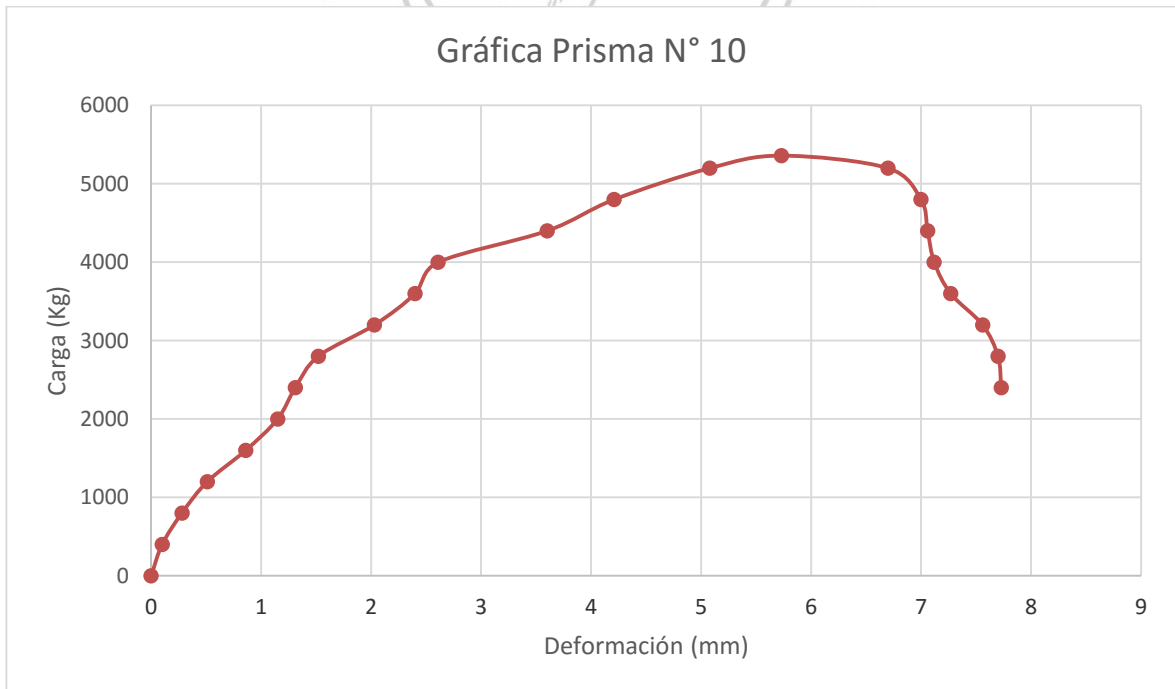
Gráfica 7. Carga vs Deformación Prisma 7



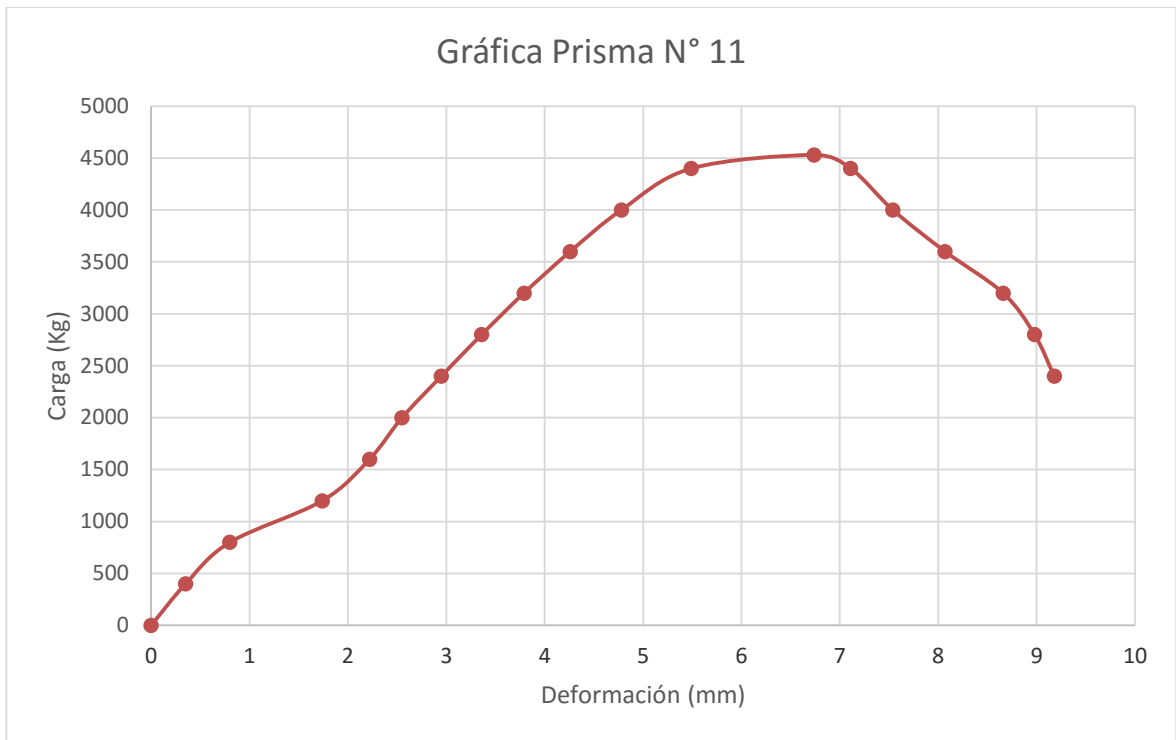
Gráfica 8. Carga vs Deformación Prisma 8



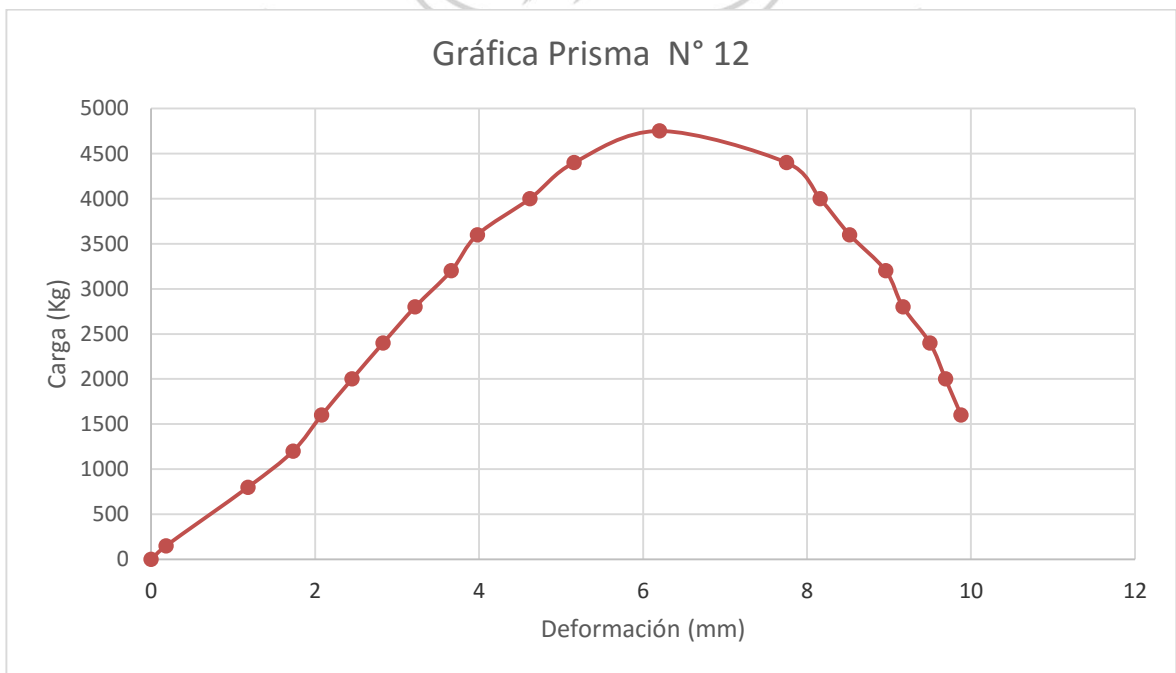
Gráfica 9. Carga vs Deformación Prisma 9



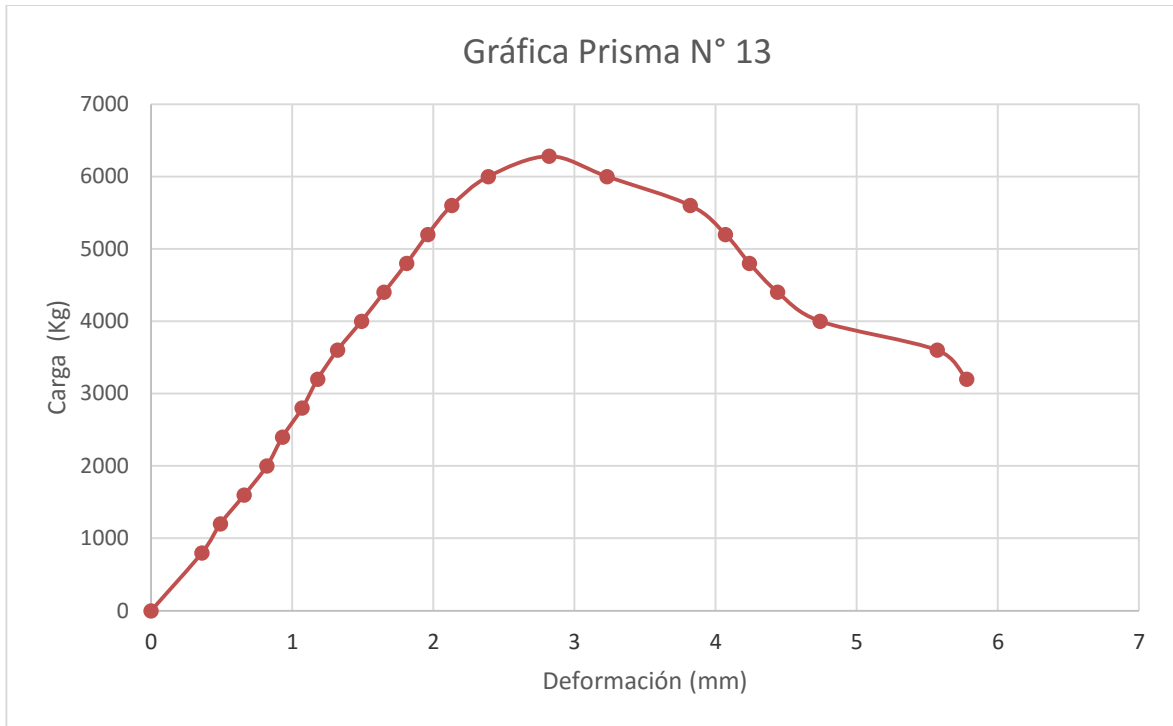
Gráfica 10. Carga vs Deformación Prisma 10



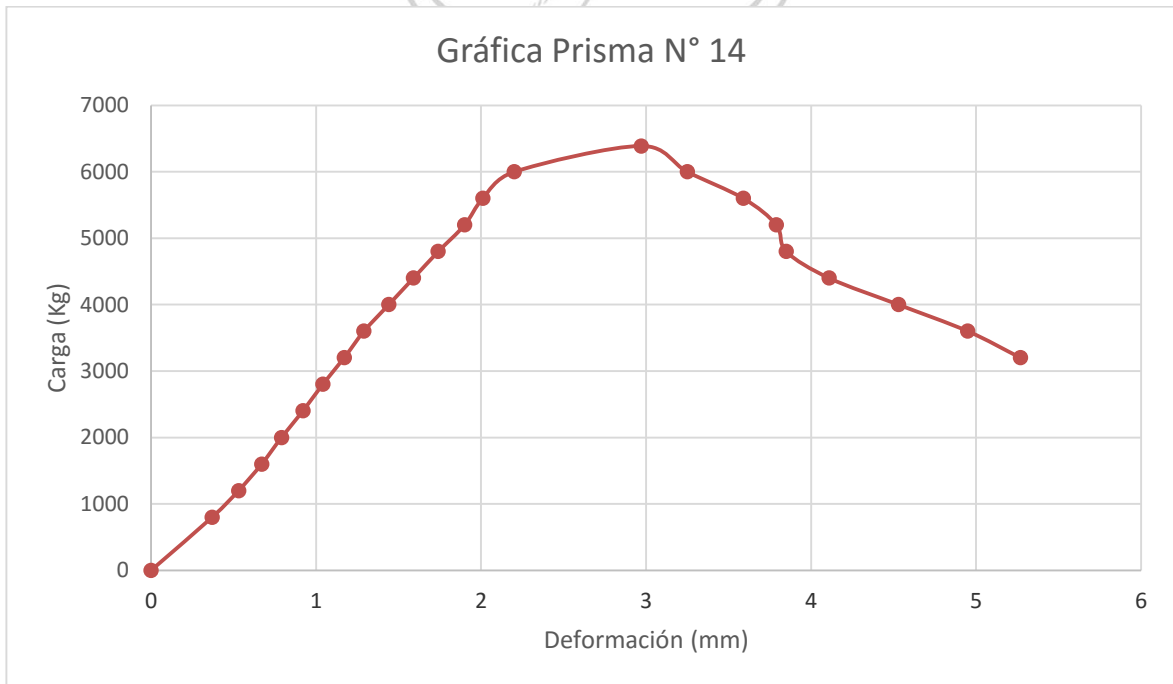
Gráfica 11. Carga vs Deformación Prisma 11



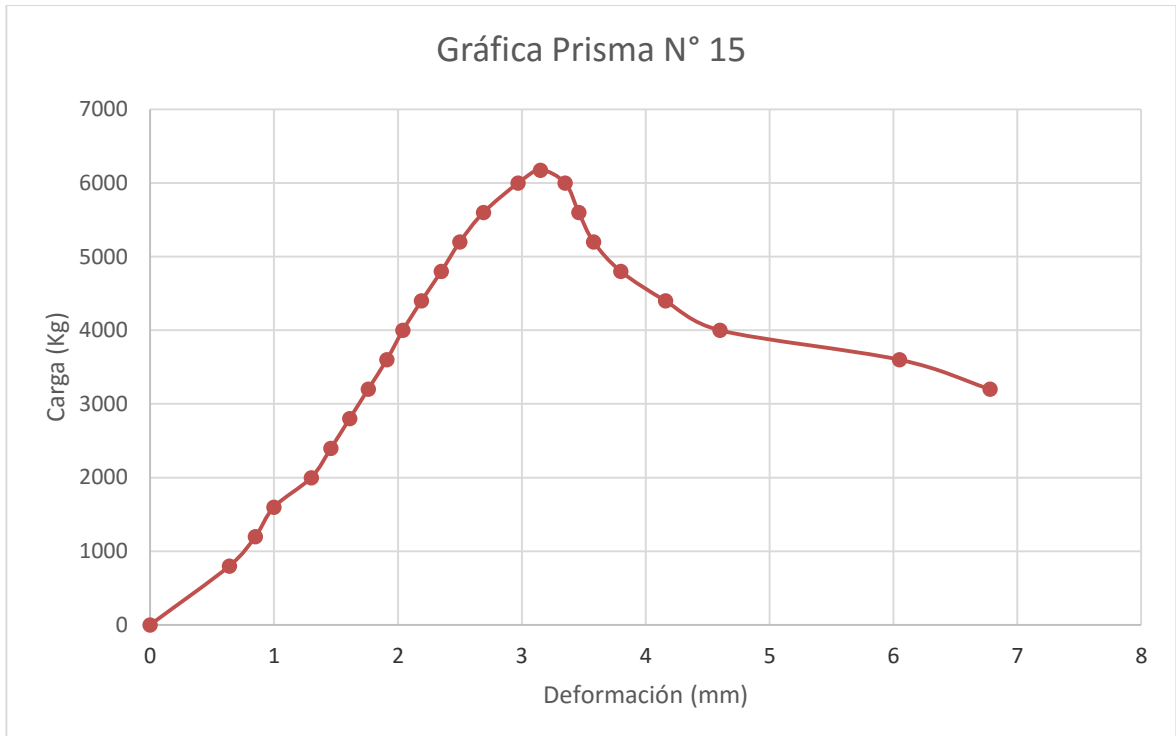
Gráfica 12. Carga vs Deformación Prisma 12



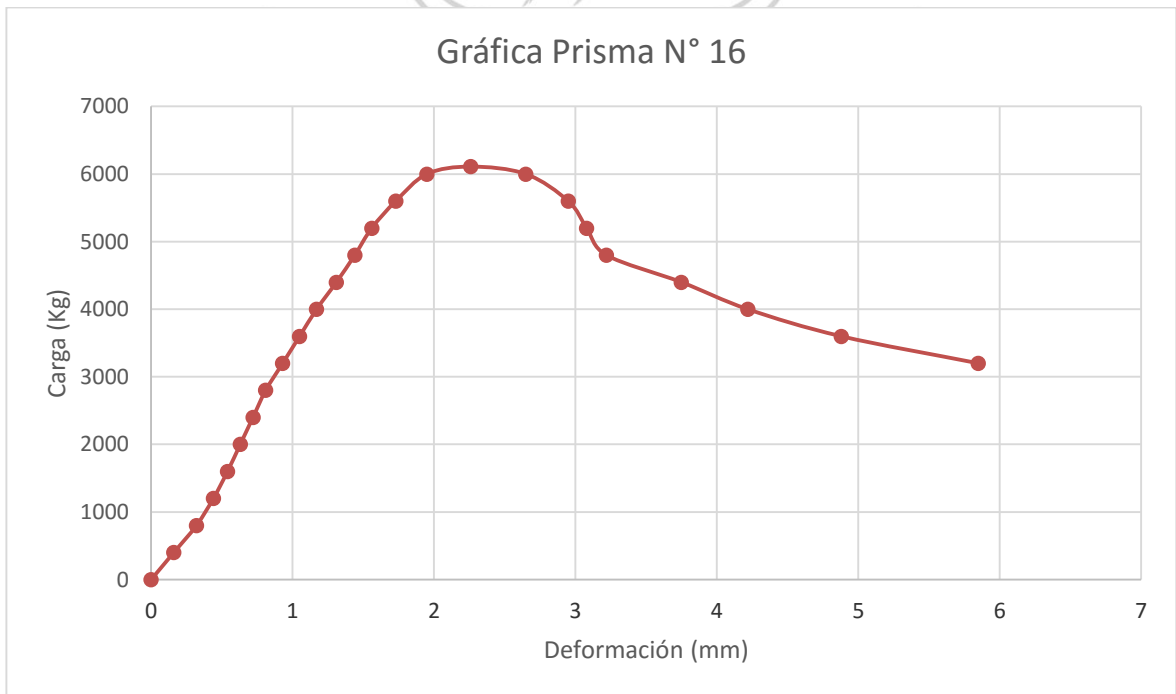
Gráfica 13. Carga vs Deformación Prisma 13



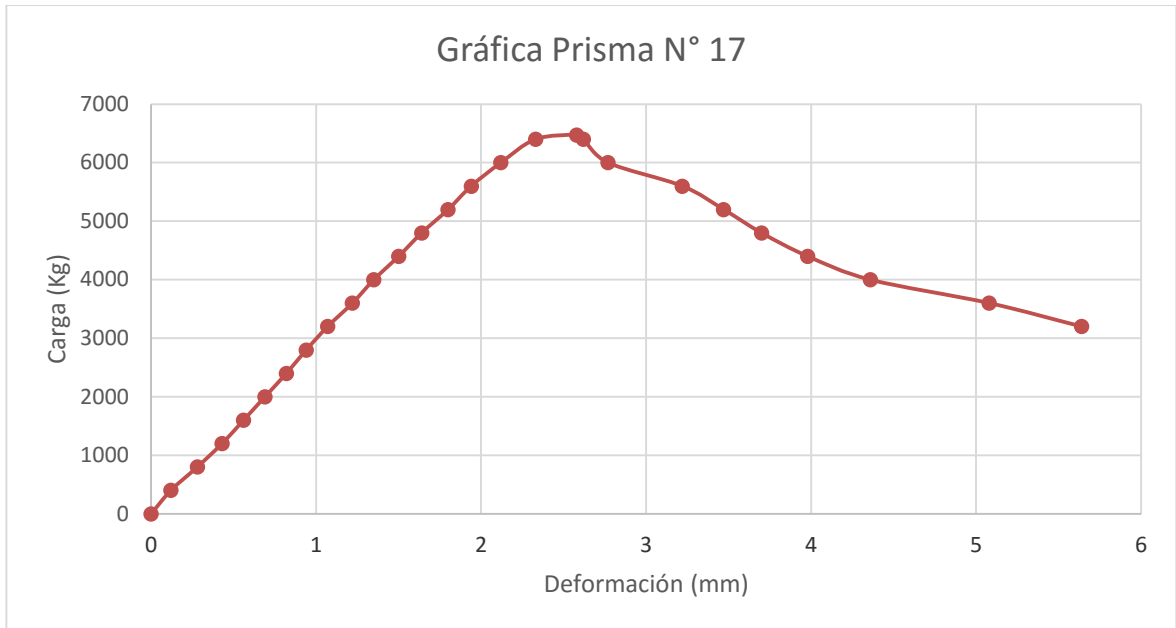
Gráfica 14. Carga vs Deformación Prisma 14



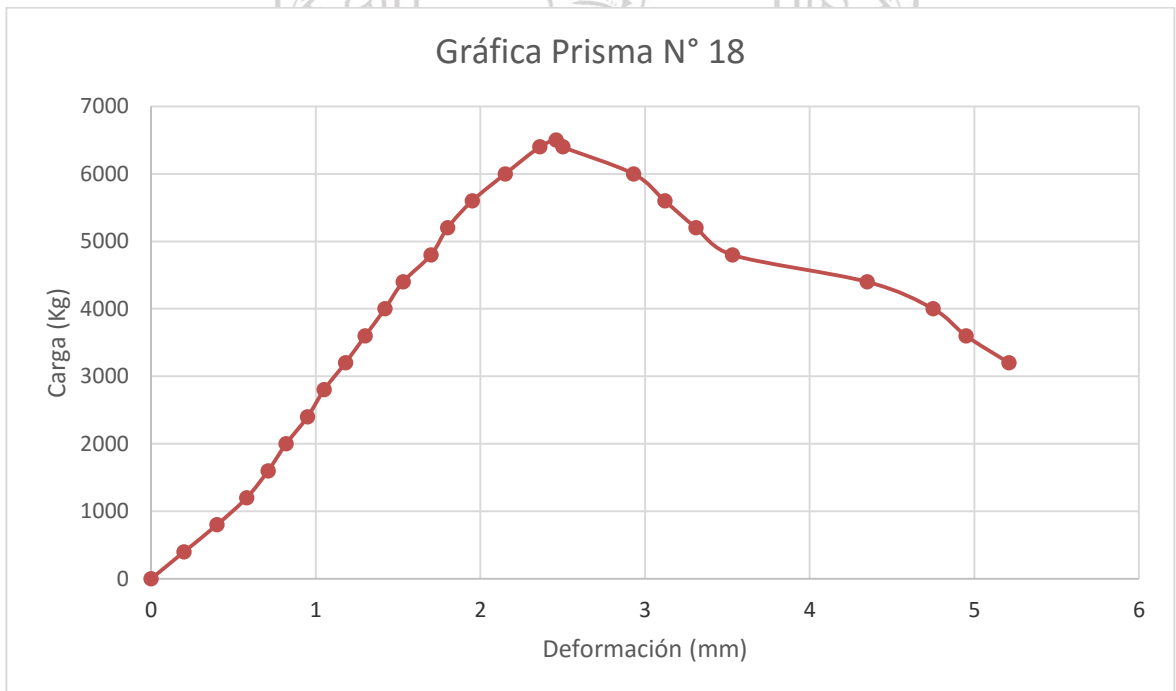
Gráfica 15. Carga vs Deformación Prisma 15



Gráfica 16. Carga vs Deformación Prisma 16



Gráfica 17. Carga vs Deformación Prisma 17



Gráfica 18. Carga vs Deformación Prisma 18

7.12 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERIA (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).

$$E_m = \frac{f'm}{\varepsilon}$$

E_m : Módulo de elasticidad de la mampostería, MPa.

ρ : Esfuerzo de compresión, Mpa.

ε : Deformación unitaria interna.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

ΔL : Deformación interna del prisma.

L : Longitud inicial del prisma ensayado

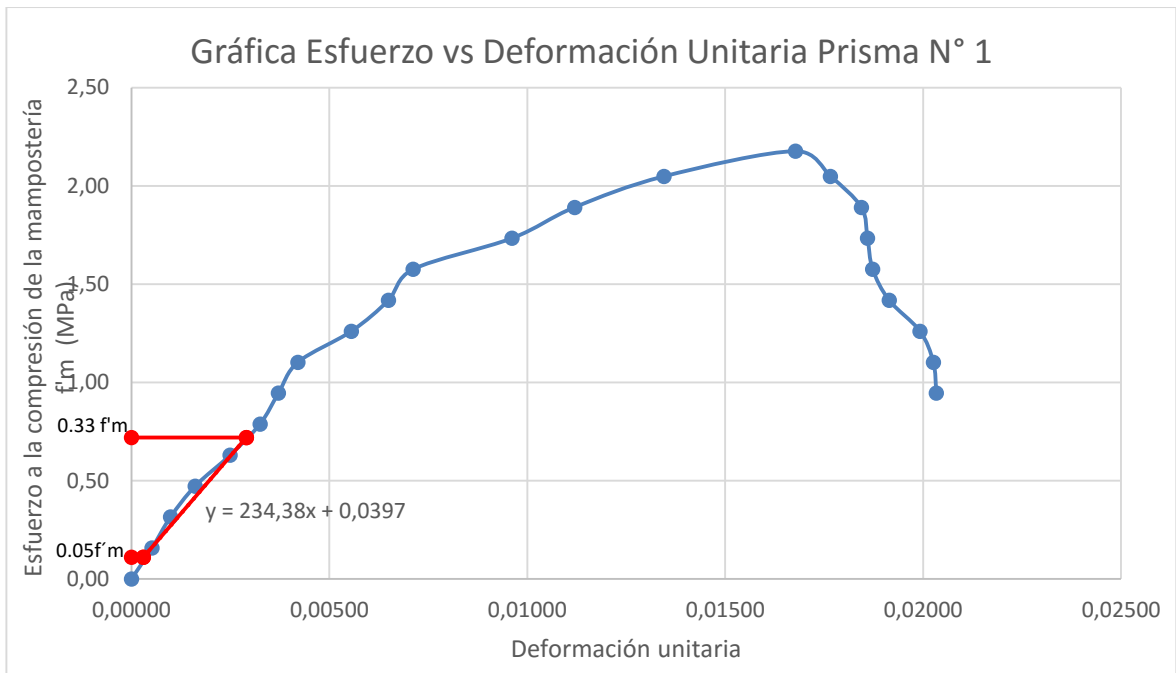
Para encontrar los módulos de elasticidad de la mampostería, se realizaron las gráficas Esfuerzo vs Deformación Unitaria para cada prisma, en las cuales se graficaron los puntos $0.05*f'm$ y $0.33*f'm$ (Siendo $f'm$ el esfuerzo máximo del prisma ensayado) con estos dos puntos se interpoló para obtener la deformación unitaria correspondiente a cada esfuerzo. El módulo de elasticidad se estima como la pendiente de la recta formada por estos puntos, establecidos por reglamento NSR-10 en el literal D.5.2.1.2.

Como lo especifica la norma, el módulo de elasticidad es la pendiente de la recta establecida entre los dos puntos anteriormente mencionados.

Entonces si y es una función lineal de x , el coeficiente de x es la pendiente de la recta. Por lo tanto, si la ecuación está dada de la siguiente manera:

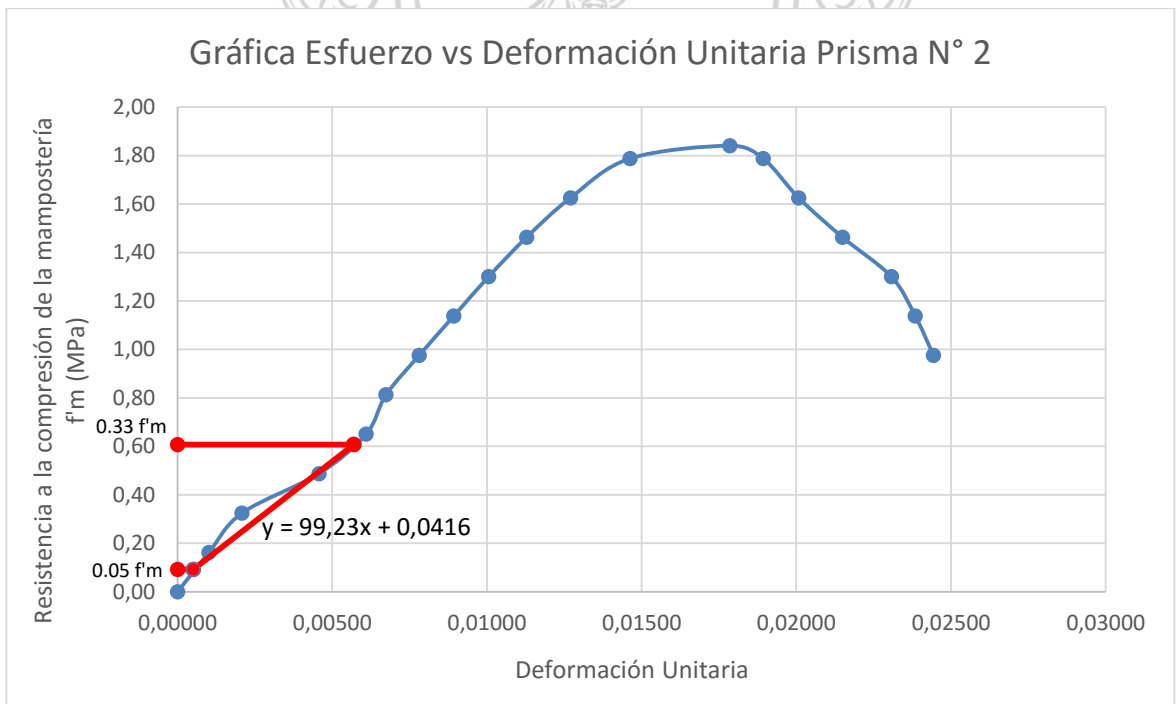
$$y = mx + b$$

Así, m será la pendiente, de esta forma se obtienen todos los módulos de elasticidad de los 18 prismas.



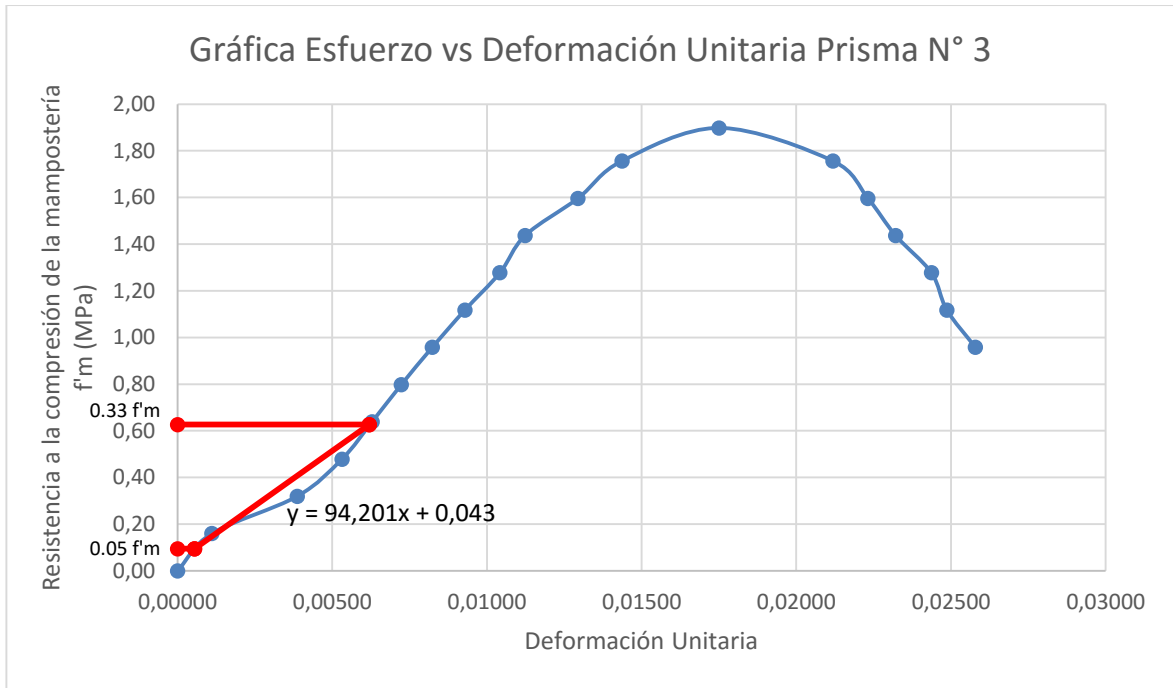
Gráfica 19. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 1.

E= 234.38 MPa.



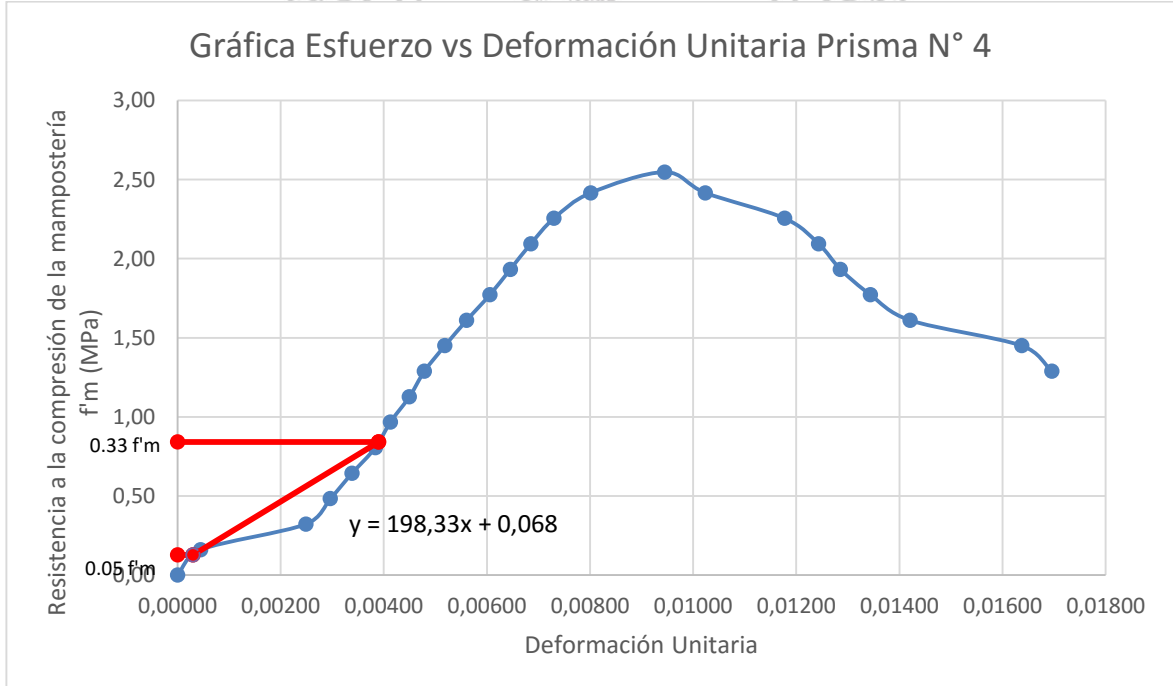
Gráfica 20. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 2.

E= 99.23 MPa.



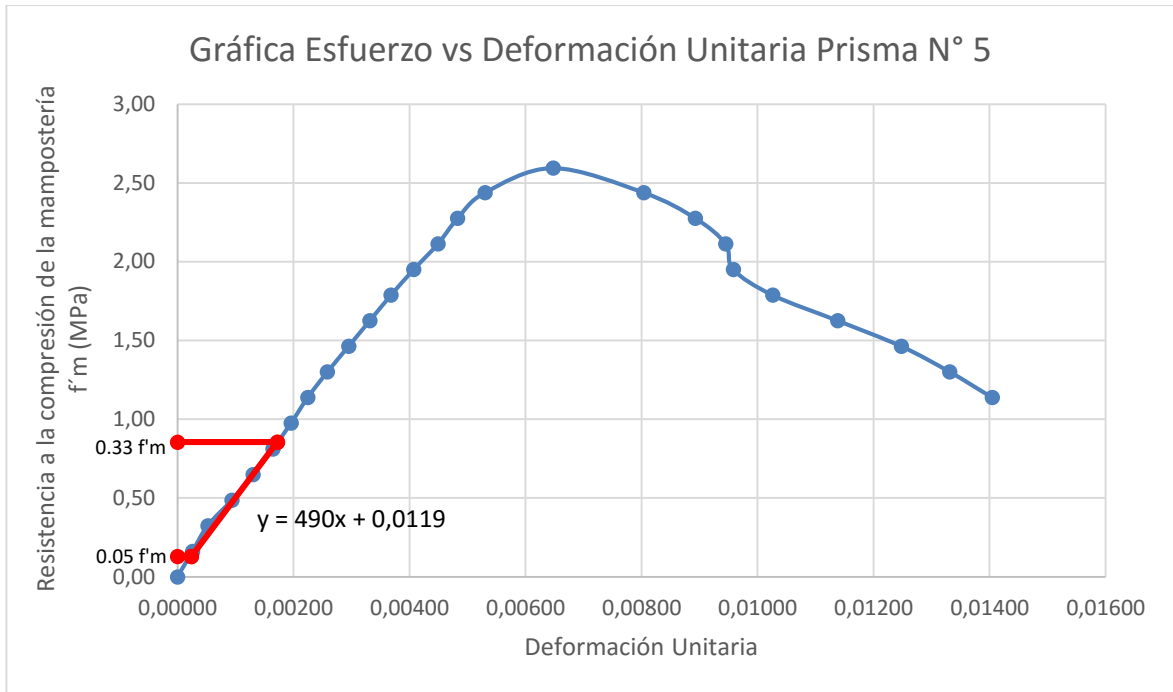
Gráfica 21. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 3.

E= 94.201 MPa.



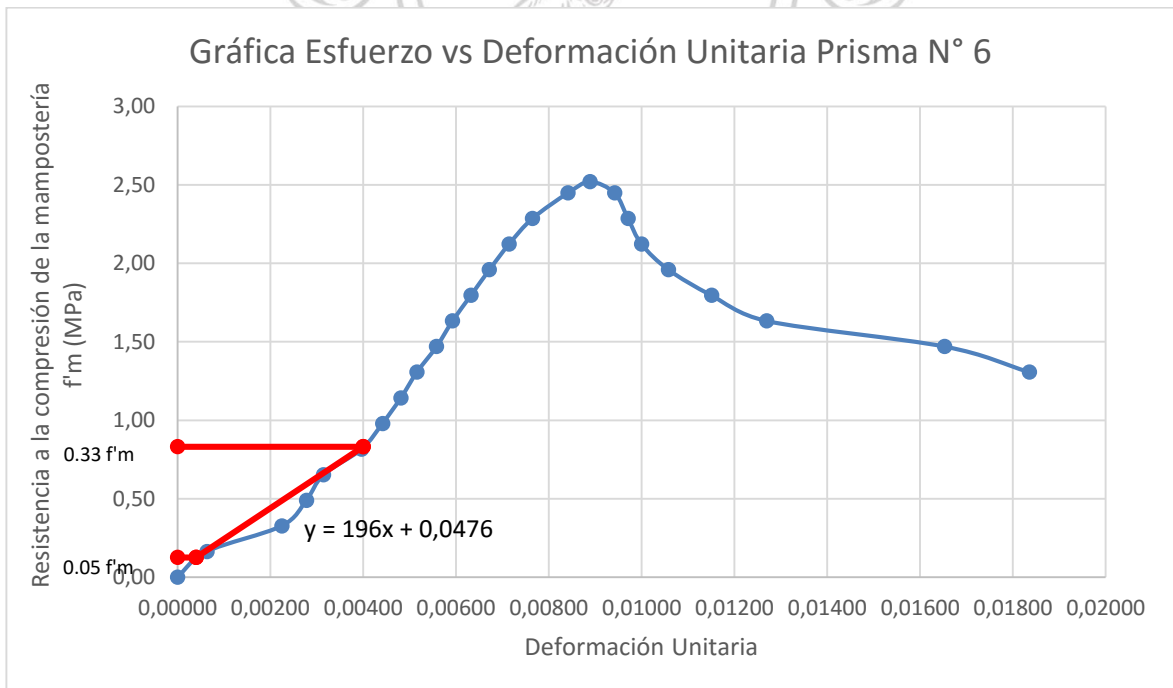
Gráfica 22. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 4.

E= 198.33 MPa.



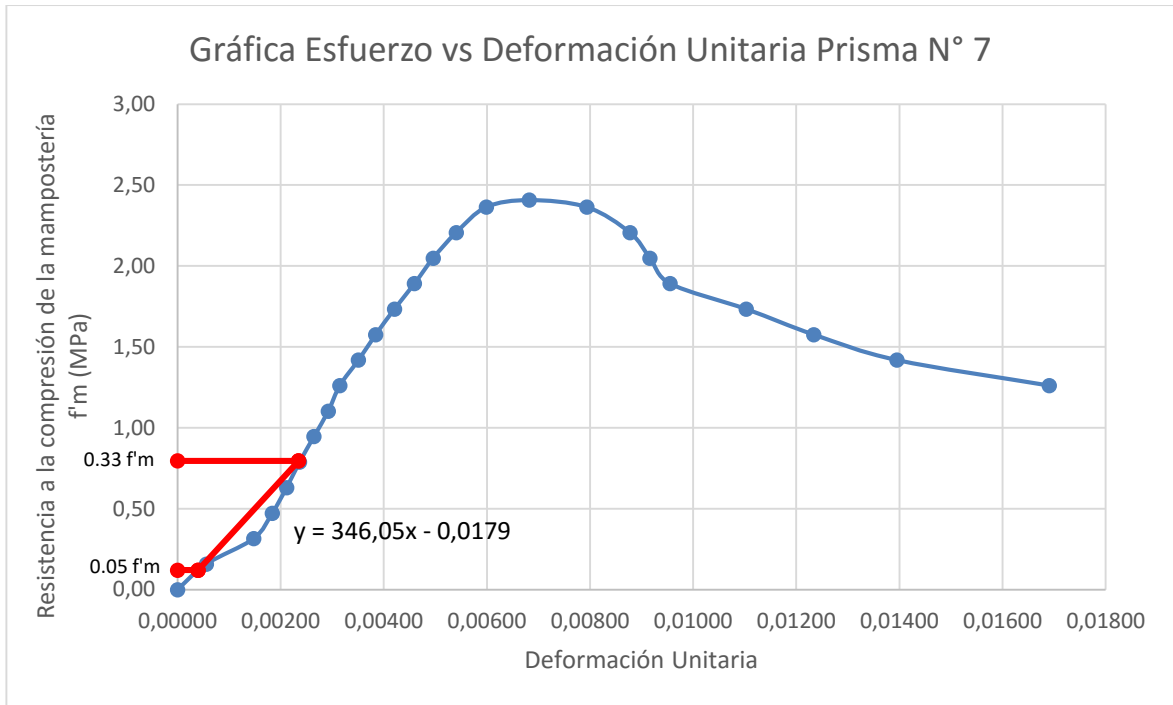
Gráfica 23. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 5.

$E = 490$ MPa.



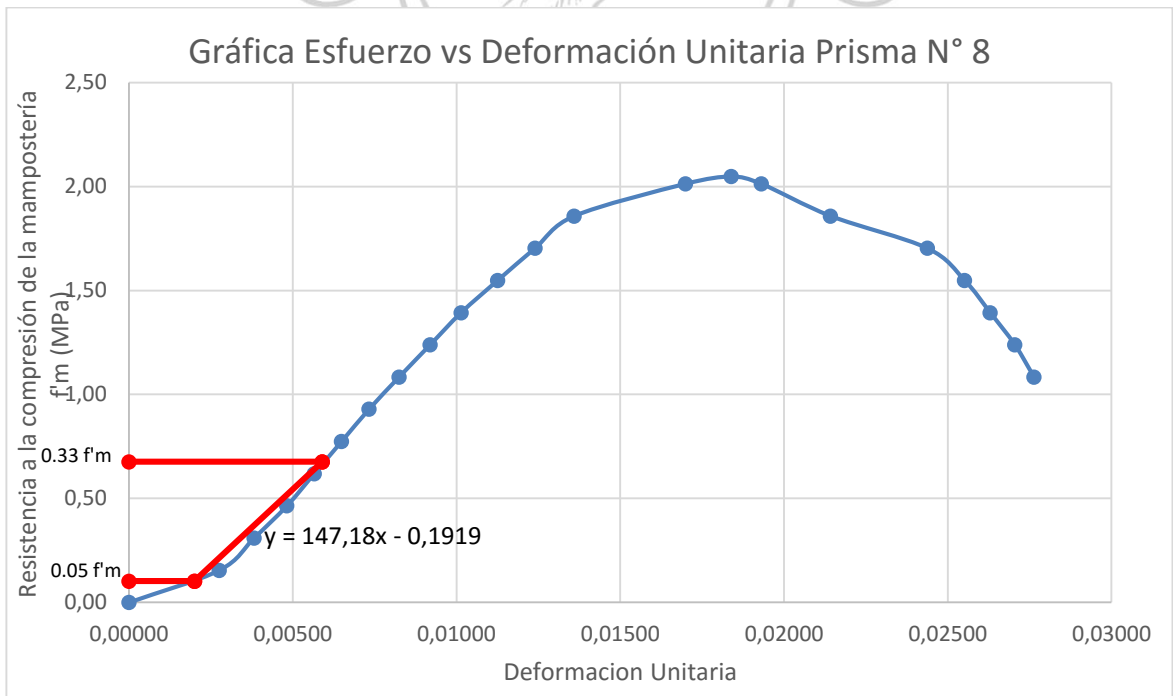
Gráfica 24. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 6.

$E = 196$ MPa.



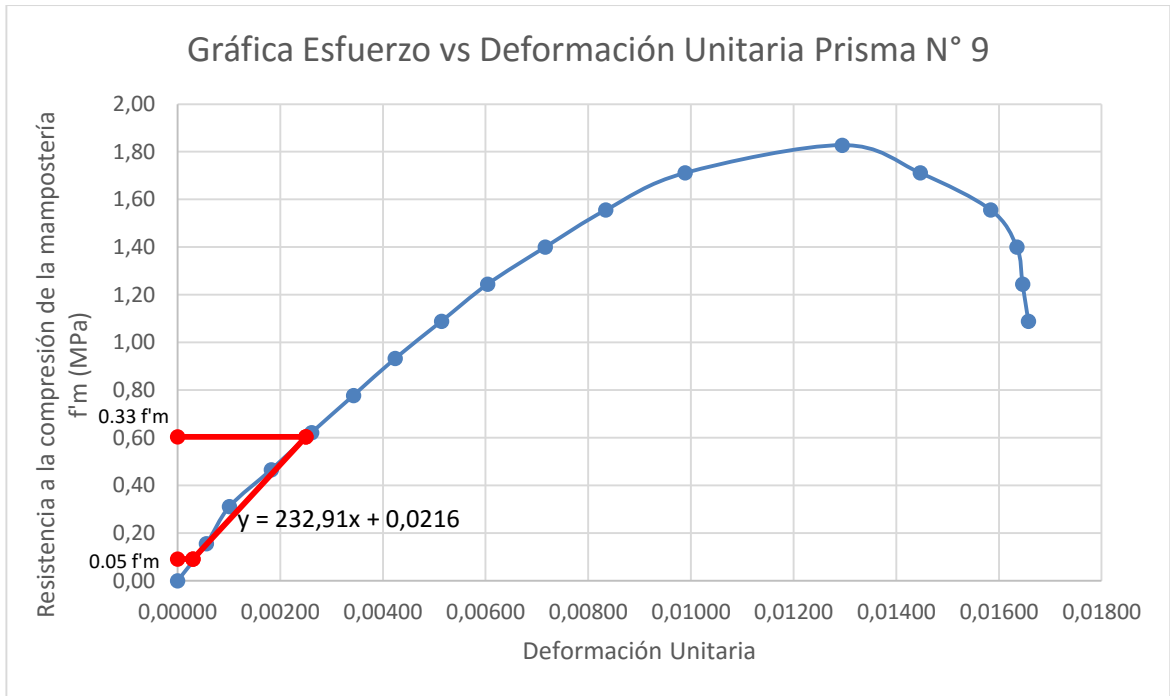
Gráfica 25. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 7.

E= 346.05 MPa.



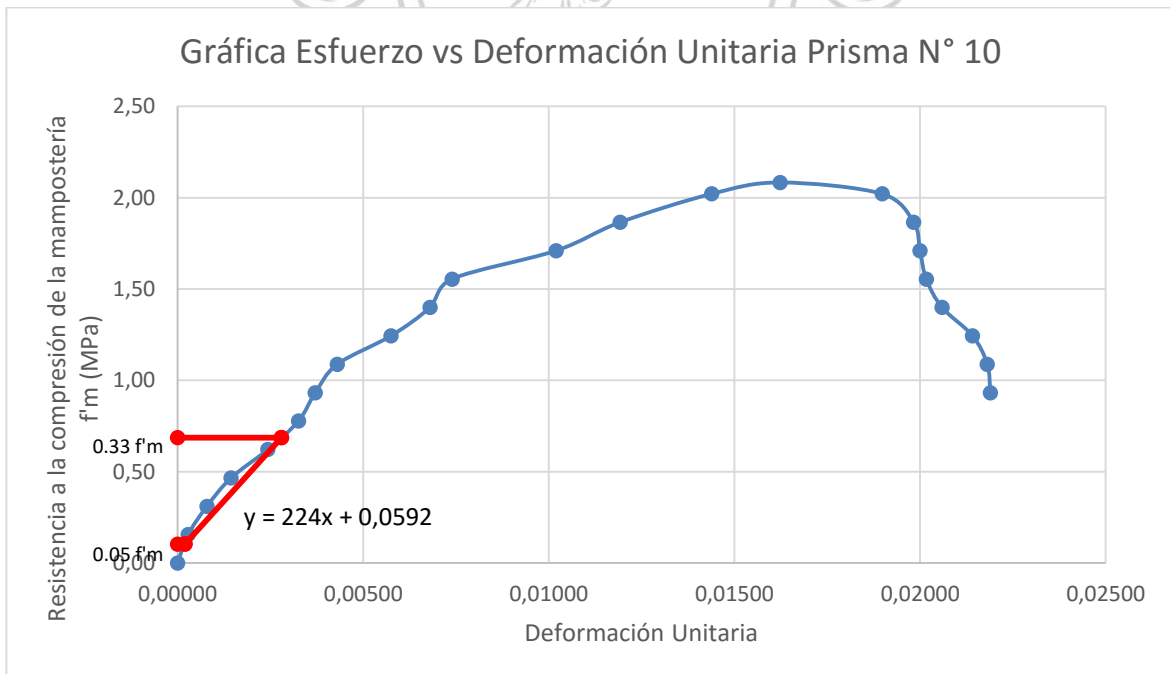
Gráfica 26. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 8.

E= 147.18 MPa.



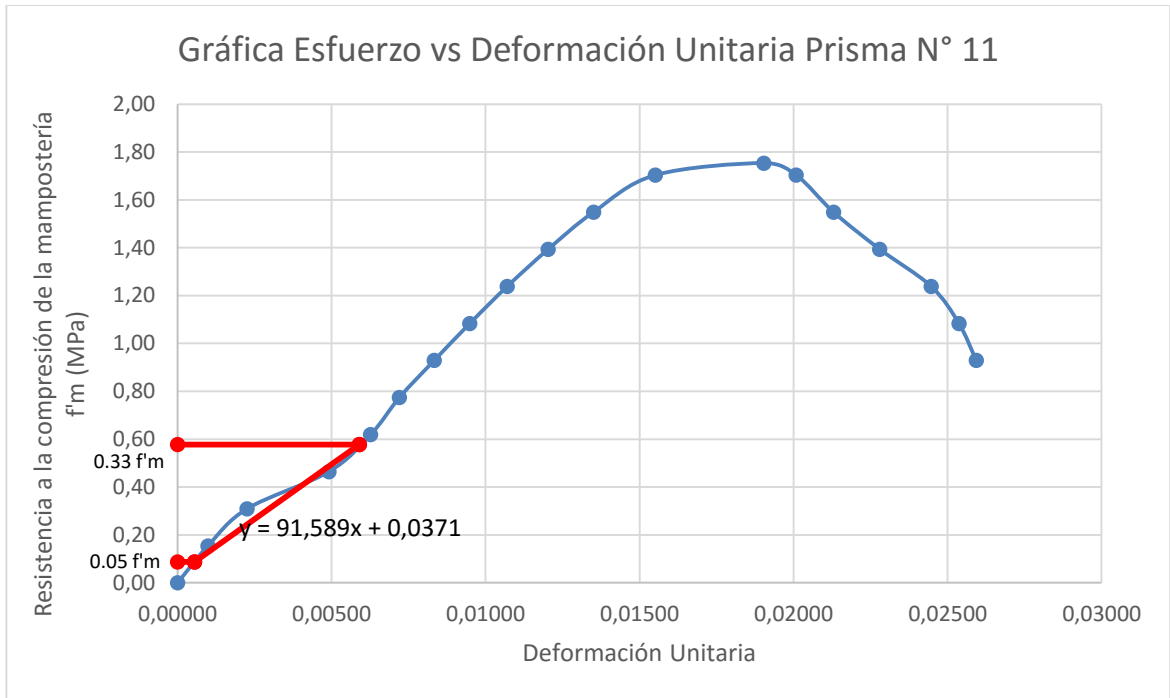
Gráfica 27. Esfuerzo vs Deformación Unitaria Prisma N° 9.

$E = 232.91$ MPa.



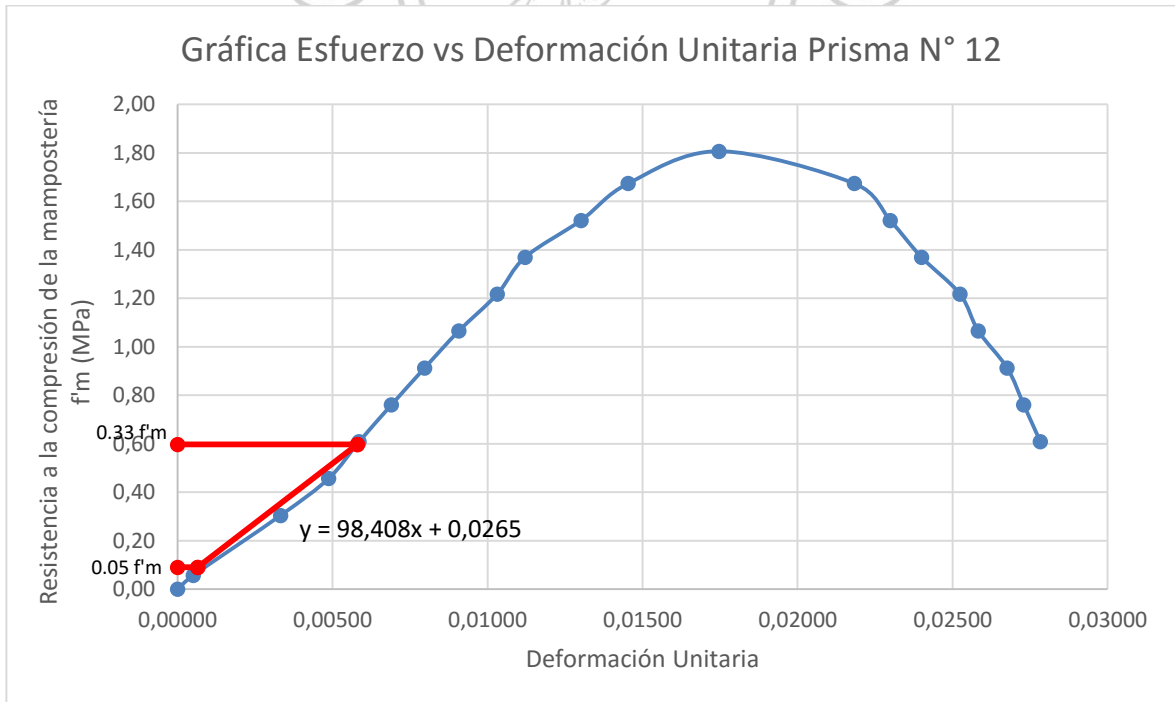
Gráfica 28. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 10

$E = 224$ MPa



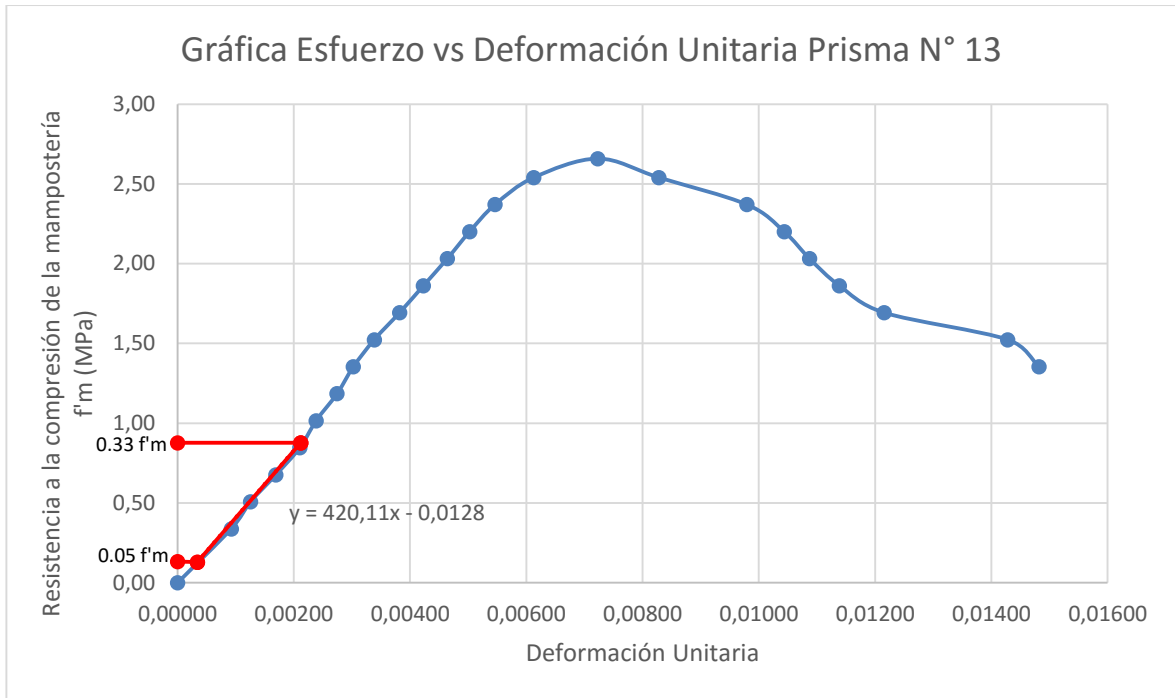
Gráfica 29. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 11

$E = 91,58 \text{ MPa}$



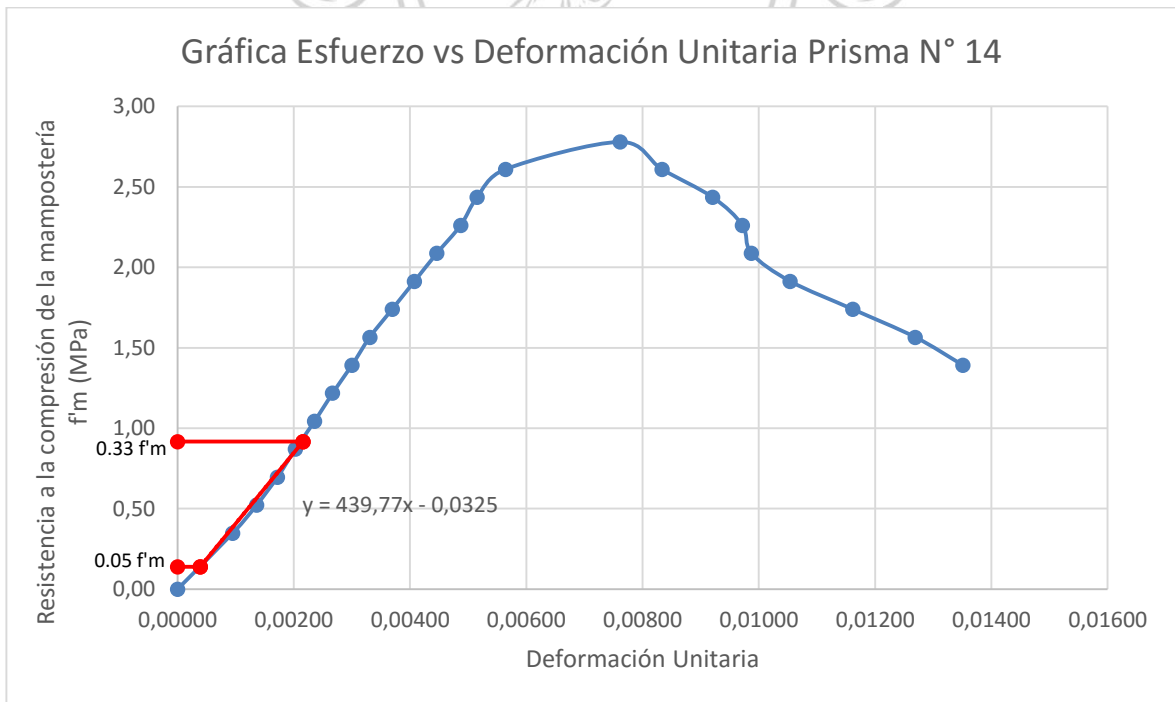
Gráfica 30. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 12

$E = 98,40 \text{ MPa}$



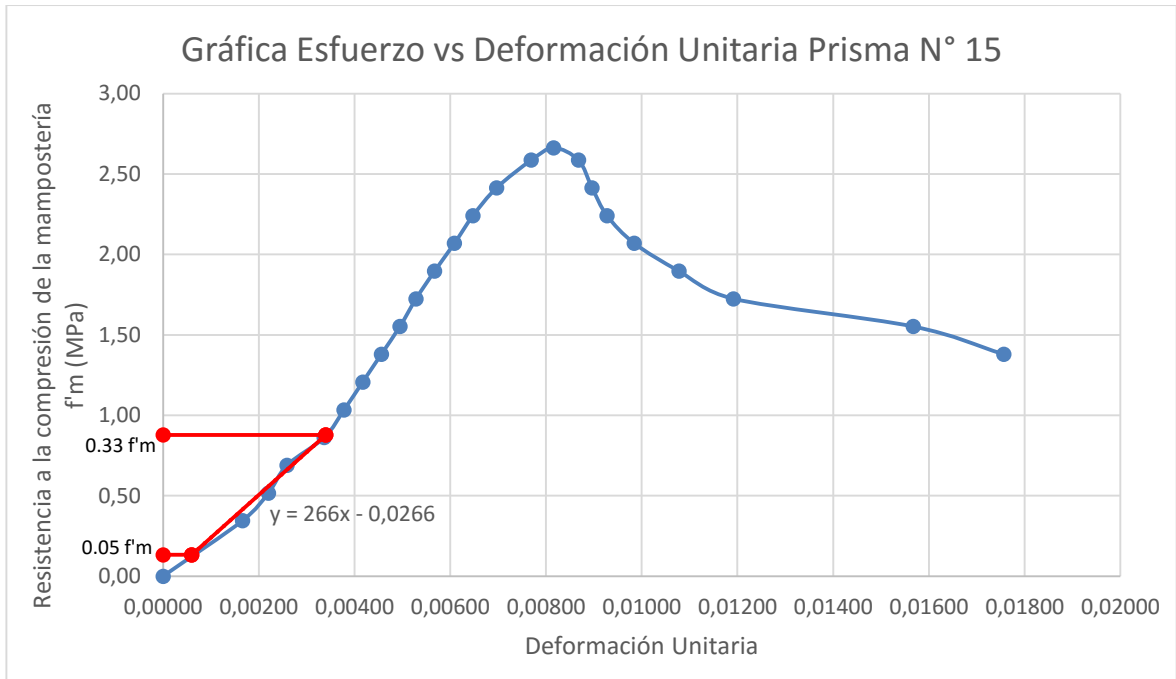
Gráfica 31. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 13

$E = 420,11 \text{ MPa}$



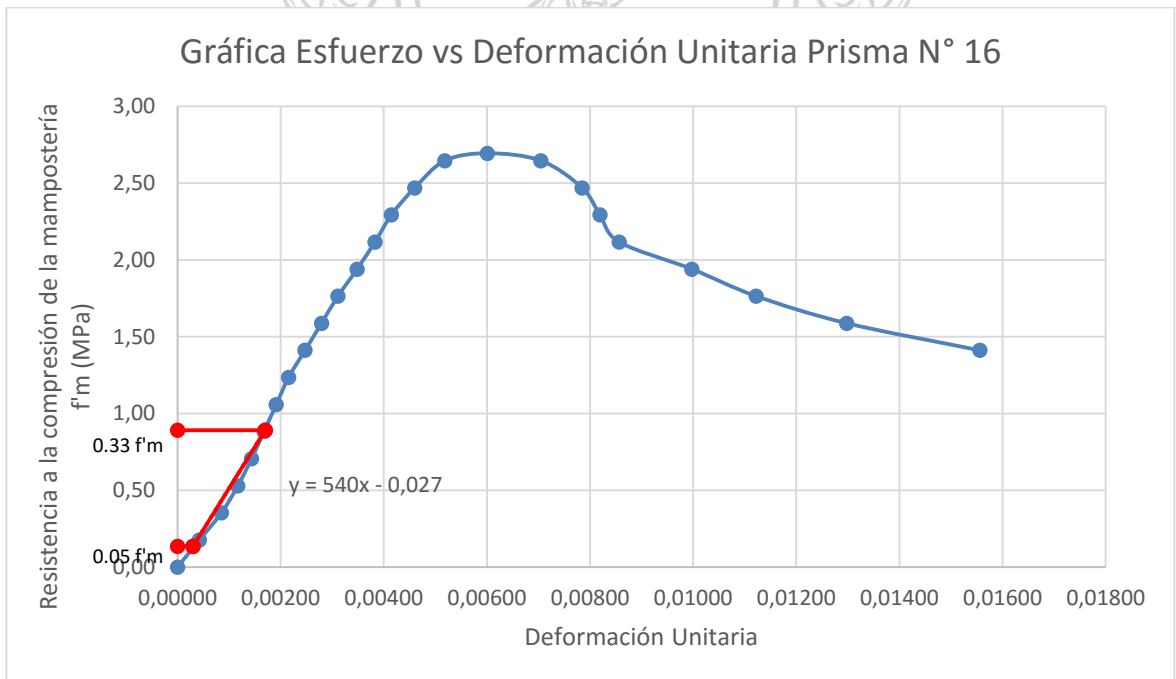
Gráfica 32. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 14

$E = 439,77 \text{ MPa}$



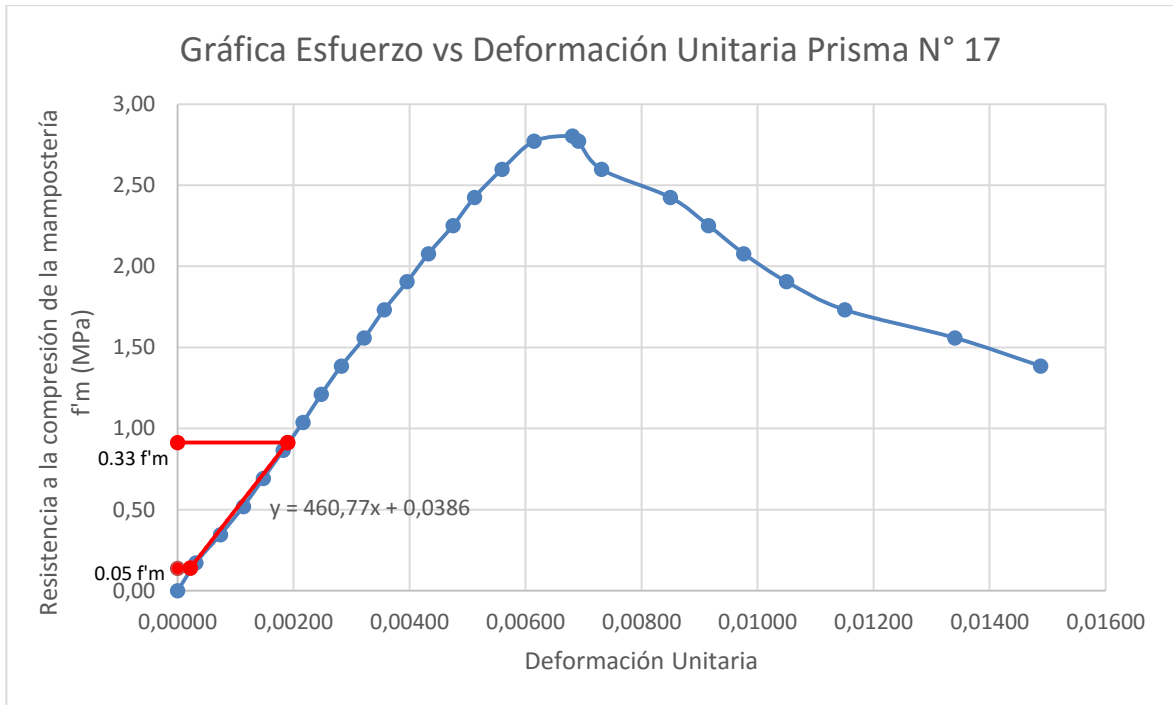
Gráfica 33. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 18

E = 266 MPa



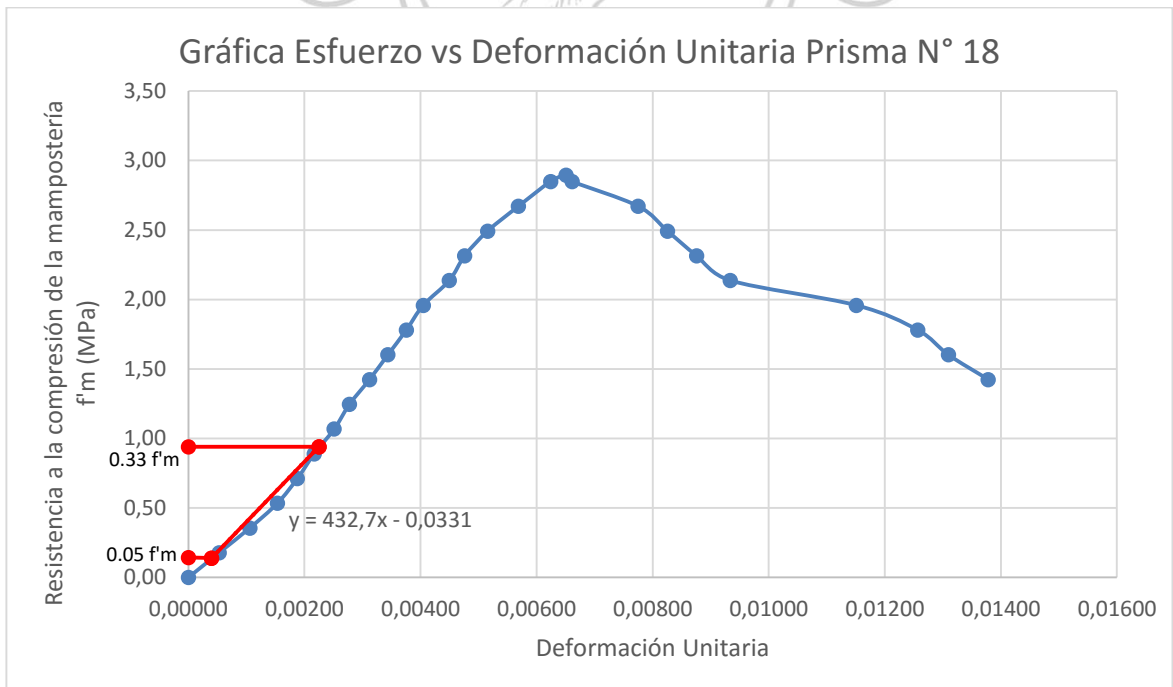
Gráfica 34. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 16

E = 540 MPa



Gráfica 35. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 17

$E = 460,77 \text{ MPa}$



Gráfica 36. Esfuerzo vs Deformación de Prisma N° 18

$E = 432,7 \text{ MPa}$

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos de acuerdo a las gráficas presentadas para cada zona de ensayo:

PRISMA	ZONA	ALTURA PRISMA	Em (MPa)	Em PROMEDIO (MPa)	DESVIACIÓN ESTANDAR	Coefficiente de Variación
1	Z1	38,5	234,38	218,7	132,0	60,36%
2		37,4	99,23			
3		38	94,201			
4		37,8	198,33			
5		38,3	490			
6		37,8	196			
7	Z2	35,9	346,05	190,0	88,7	46,70%
8		35,9	147,18			
9		35,6	232,91			
10		35,3	224			
11		35,4	91,589			
12		35,5	98,408			
13	Z3	39	420,11	426,6	81,7	19,16%
14		39	439,77			
15		38,6	266			
16		37,6	540			
17		37,9	460,77			
18		37,8	432,7			

Tabla 16. Módulo de elasticidad de la mampostería

7.13 Ensayos adicionales

Debido a la diferencia que se presentó entre los resultados obtenidos hasta esta etapa del proyecto con los encontrados en el estudio “Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería” (Ibarra & Peña 2014), se decidió ensayar cinco unidades más de mampostería maciza para cada zona de estudio, agregando una cuarta zona (Z4) con ladrillos producidos de forma artesanal y ladrillos de mampostería estructural cuya producción se realiza industrialmente.

Se procedió de manera similar para el ensayo a compresión, respecto a las unidades de mampostería anteriormente mencionadas, hubo una diferencia en cuanto al refrentado de estas, ya que se realizaron con yeso de alta resistencia, tal y como lo especifica la norma NTC 4017 y no con azufre como anteriormente se habían trabajado. A continuación se muestran los resultados obtenidos para estos ensayos adicionales.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z1	1	11.6	11	123.63	38.2	3.09
		11.4	10.5			
	PROMEDIO	11.5	10.75			
	2	11.9	11.1	131.01	50.8	3.88
		11.6	11.2			
	PROMEDIO	11.75	11.15			
	3	11.7	11	125.35	39.7	3.17
		11.3	10.8			
	PROMEDIO	11.5	10.9			
	4	11.4	10.8	123.75	38.5	3.11
		11.1	11.2			
	PROMEDIO	11.25	11			
	5	11.7	11.2	128.21	35.9	2.8
		11.4	11			
	PROMEDIO	11.55	11.1			
TOTAL Z1				PROMEDIO		3.21
				DESVIACIÓN ESTANDAR		0.36
				Coefficiente de variación		11,21%

Tabla 17. Características físicas de las unidades de mampostería zona 1

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z2	6	12	11.1	135.52	40	3,00
		12.2	11.3			
	PROMEDIO	12.1	11.2			
	7	11	10.3	115.96	36.6	3.16
		11.3	10.5			
	PROMEDIO	11.15	10.4			
	8	11.1	10.8	121.45	36.5	3.01
		11.6	10.6			
	PROMEDIO	11.35	10.7			
	9	11	10.5	113.36	46.8	4.13
		10.8	10.3			
	PROMEDIO	10.9	10.4			
	10	11.5	10.4	116.91	48.4	4.14
		11.2	10.2			
PROMEDIO	11.35	10.3				
TOTAL Z2				PROMEDIO		3.49
				DESVIACIÓN ESTANDAR		0.53
				Coefficiente de variación		15,19%

Tabla 18. Características físicas de las unidades de mampostería zona 2.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z3	11	11.7	11.1	128.18	36.5	2.85
		11.5	11			
	PROMEDIO	11.6	11.05			
	12	11.8	11	130.46	47.2	3.62
		11.6	11.3			
	PROMEDIO	11.7	11.15			
	13	11.7	11.4	131.04	51	3.89
11.7		11				
PROMEDIO	11.7	11.2				

Z3	14	11.8	11.4	132.23	56.3	4.26
		11.5	11.3			
	PROMEDIO	11.65	11.35			
	15	11.6	11	130.98	57.7	4.41
		12	11.2			
	PROMEDIO	11.8	11.1			
	TOTAL Z3				PROMEDIO	3.81
					DESVIACIÓN ESTANDAR	0.55
					Coefficiente de variación	14,44%

Tabla 19. Características físicas de las unidades de mampostería zona 3.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES		ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	cm ²	KN	MPa
Z4	16	12	11.4	133.28	67	5.03
		11.8	11			
	PROMEDIO	11.9	11.2			
	17	11.8	11.4	132.8	47	3.54
		12.1	11.3			
	PROMEDIO	11.7	11.35			
	18	12.1	11.5	137.25	67.6	4.93
		12.3	11			
	PROMEDIO	12.2	11.25			
	19	11.8	11.4	136.83	68.9	5.04
		12.1	11.5			
	PROMEDIO	11.95	11.45			
	20	12	11.4	136.73	62.3	4.56
		12.2	11.2			
	PROMEDIO	12.1	11.3			
	TOTAL Z4				PROMEDIO	4.62
DESVIACIÓN ESTANDAR					0.57	
Coefficiente de variación					12,34%	

Tabla 20. Características físicas de las unidades de mampostería zona 4.

Ahora para las unidades de mampostería estructurales producidas industrialmente.

ZONA	LADRILLO	DIMENSIONES			ÁREA NETA	CARGA ÚLT.	RESISTENCIA
	N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	HUECO (cm)	cm ²	KN	MPa
INDUSTRIALES	1	23.7	10.1	3.2	138.16	255	18.46
		23.7	10.2	3.2			
	PROMEDIO	23.7	10.15	3.2			
	2	23.6	10.2	3.2	138.83	373.4	26.9
		23.7	10.2	3.2			
	PROMEDIO	23.65	10.2	3.2			
	3	23.6	10.1	3.2	137.14	291	21.22
		23.6	10.2	3.2			
	PROMEDIO	23.6	10.15	3.2			
	4	23.7	10.2	3.2	139.34	319.9	22.96
		23.7	10.2	3.2			
PROMEDIO	23.7	10.2	3.2				
5	23.7	10.3	3.2	138.32	332.7	24.05	
	23.5	10.1	3.2				
PROMEDIO	23.6	10.2	3.2				
TOTAL INDUSTRIALES					PROMEDIO	22.72	
					DESVIACIÓN ESTANDAR	2.82	
					Coeficiente de variación	12,41%	

Tabla 21. Características físicas de las unidades de mampostería industrial

A continuación presentamos algunas imágenes de la forma en que fallaron las unidades de mampostería adicionales y que fueron refrentadas con yeso.



Foto 25. Falla unidad de mampostería refrentada con yeso.



Foto 26. Falla unidad de mampostería refrentada con yeso.



Foto 27. Falla del ladrillo que se produce de manera industrial refrentado con yeso.



Foto 28. Falla del ladrillo que se produce de manera industrial refrentado con yeso.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Análisis de la fluidez del mortero de pega

El grado de fluidez del mortero se refiere a la trabajabilidad de la mezcla de mortero en su estado plástico y está relacionada con su 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:

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.

Tabla 22. Valores típicos de fluidez y tipo de estructuras en las cuales son utilizados. Barrios Jaramillo Luis Hebert, Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural. Segunda edición. Santa Fe de Bogotá, D.C, 1998, p80.

Los valores obtenidos de fluidez se resumen en la tabla 22, presentada a continuación.

MORTERO DE PEGA	FLUIDEZ OBTENIDA	RANGO DE FLUIDEZ	CONSISTENCIA	TIPO DE ESTRUCTURA
DISEÑO	117,5	100 - 120	MEDIO (PLÁSTICO)	PEGA DE MAMPOSTERIA, BALDOSINES, PAÑETES, REVESTIMIENTOS
PRISMAS	113,4			

Tabla 23. Valores obtenidos de fluidez para el mortero de diseño y el utilizado en la pega de los prismas.

Los valores de fluidez encontrados experimentalmente están contenidos dentro del rango estipulado para un mortero plástico, según lo establecido por el reglamento NSR – 10 para un mortero de tipo S.

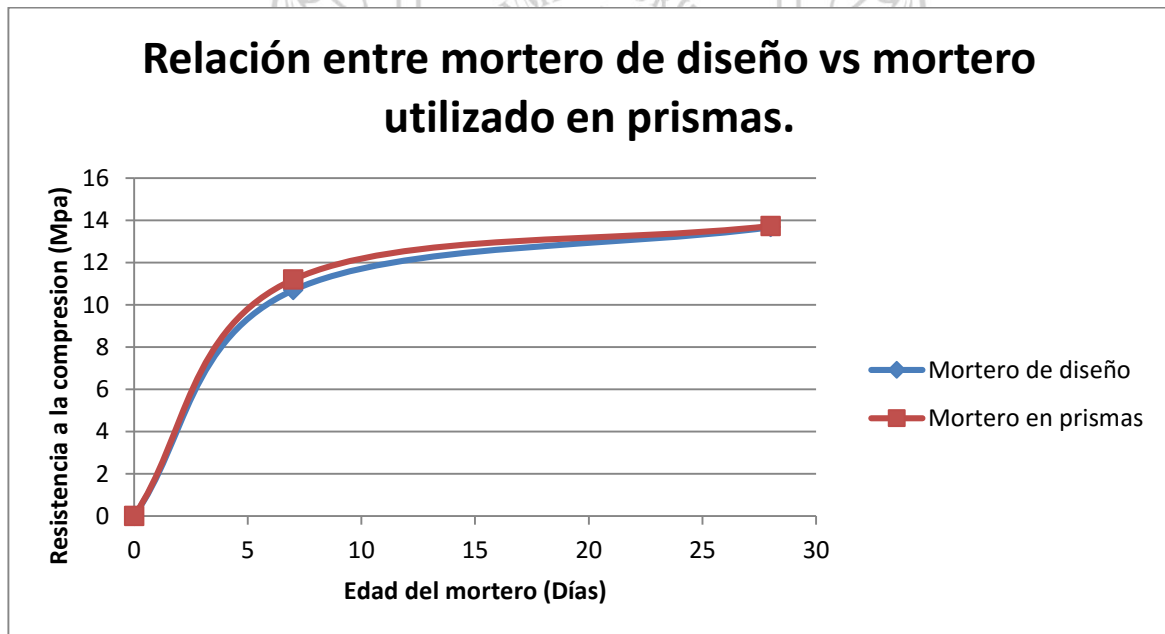
8.2 Análisis de la resistencia del mortero de pega

Inicialmente se diseñó en el laboratorio un mortero de pega tipo S con una resistencia promedio de 13.68 MPa, posteriormente para la construcción de los

prismas se pudo obtener el mortero de pega que se buscaba inicialmente con un resistencia promedio de 13.74 MPa. Dichos valores se encuentran entre 12.5 – 17.5 MPa como estipula la norma. La resistencia final del mortero de pega usado en las probetas no presento una variación significativa, respecto a la resistencia obtenida para el mortero de diseño.

Edad (días)	Resistencia a la compresión del mortero f'_{cp} (MPa)	
	Diseño	Prismas
7	10.7	11.2
28	13.68	13.74

Tabla 24. Resistencia del mortero de pega de diseño vs mortero de pega usado en prismas.



Gráfica 37. Relación entre mortero de diseño vs mortero utilizado en prismas.

En la gráfica se puede observar que a la edad de 7 días la resistencia a la compresión del mortero que se utilizó en los prismas es mayor que la del mortero de diseño, pero la diferencia no es significativa, al final la resistencia del mortero de pega que se utilizó en los primas es casi la misma de diseño, con lo cual se evidencia que la manera como se procedió para la elaboración de cada mezcla fue constante puesto que se trató de mantener las variables que afectan directamente la resistencia a la compresión tales como: temperatura, dosificación de materiales, mano de obra, entre otras.

8.3 Análisis de la resistencia especificada de las unidades de mampostería

Los resultados de resistencia obtenidos para cada zona de estudio, los cuales cuantifican un total de quince datos, para las primeras tres zonas (Z1, Z2 y Z3), y cinco datos tanto para la zona Z4 como para los ladrillos producidos industrialmente; además de los resultados de la investigación de Ibarra y Peña en 2014, correspondientes a Z5, provenientes de la misma zona Z2. Se muestran en la siguiente tabla.

N°/ZONA	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (MPa)					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	INDUSTRIAL
1	3,19	4,29	4,92	5,03	5,96	18,46
2	3,61	4,63	3,29	3,54	7,33	26,9
3	4,23	3,84	3,04	4,93	7,7	21,22
4	3,14	4,17	2,1	5,04	5,52	22,96
5	2,99	3,36	3,7	4,56	5,69	24,05
6	3,19	3,76	3,42		5,09	
7	2,95	3,68	2,18		7,14	
8	4,13	3,07	2,14		7,1	
9	2,94	3,44	3,11		5,28	
10	2,86	3,76	3,65		4,85	
11	3,09	3	2,85		7,6	
12	3,88	3,16	3,62		7,9	
13	3,17	3,01	3,89		5,89	
14	3,11	4,13	4,26		4,85	
15	2,8	4,14	4,41			
PROMEDIO	3,29	3,70	3,37	4,62	6,28	22,72
DESV. ESTANDAR	0,44	0,50	0,81	0,57	1,09	2,82
Coef. variación	13,43%	13,40%	23,96%	12,28%	17,33%	12,40%

Tabla 25. Resumen de las resistencias, valores promedio y desviación estándar para unidades de mampostería.

Las resistencias de las unidades de mampostería para las zonas Z1, Z2 Z3 y Z4 son similares con un valor promedio de 3,75 MPa, que comparado con Z5 (6,28 MPa), resulta ser aproximadamente el 60% de esta. Si se analiza los resultados de Z2 respecto a los de Z5, que son de la misma zona de estudio, se observa gran diferencia entre estos, ya que la resistencia de Z2 es el 59% de Z5.

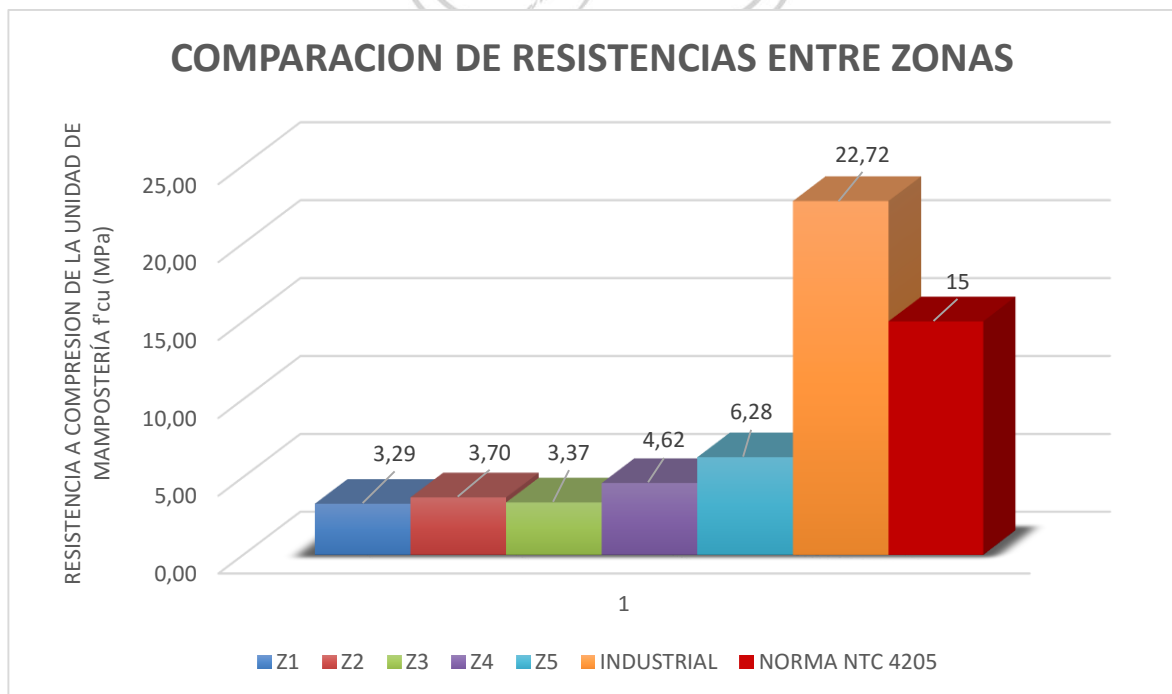
Ahora bien, comparando la resistencia del ladrillo producido industrialmente con el valor promedio de resistencia de las zonas Z1, Z2, Z3 y Z4, esta última es el 17% de la primera y el 25% de la especificada en la norma NTC 4205 (15 MPa).

Cabe destacar que la resistencia del ladrillo producido de forma industrial supera ampliamente el valor antes mencionado, por lo tanto se puede decir que este es apto para utilizarse en mampostería estructural.

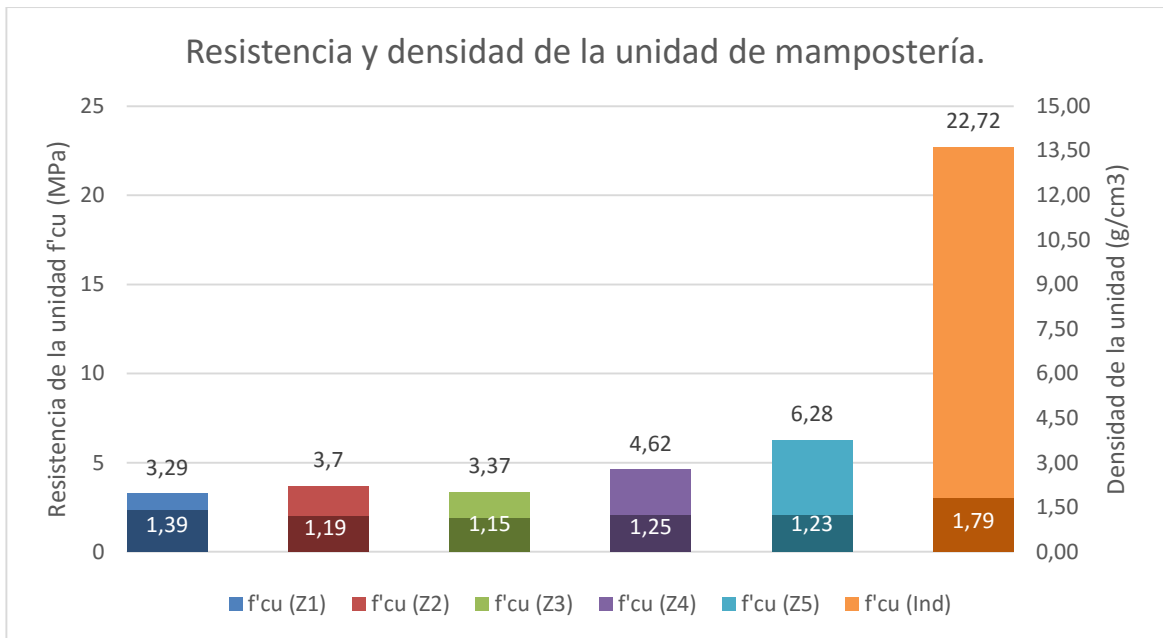
Se tomaron los datos promedio de los pesos y densidades de cada tipo de ladrillo, para analizar su resistencia en función de la densidad, los cuales se presentan a continuación:

ZONA	VALORES PROMEDIO			
	PESO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	RESISTENCIA (MPa)
Z1	1230	882,74	1,39	3,29
Z2	1037	870,48	1,19	3,70
Z3	1034	899,48	1,15	3,37
Z4	1182	947,66	1,25	4,62
Z5	1027	834,108	1,23	6,28
Ind	1610	899,34	1,79	22,72

Tabla 26. Densidades y resistencia promedio de las unidades de mampostería analizadas.



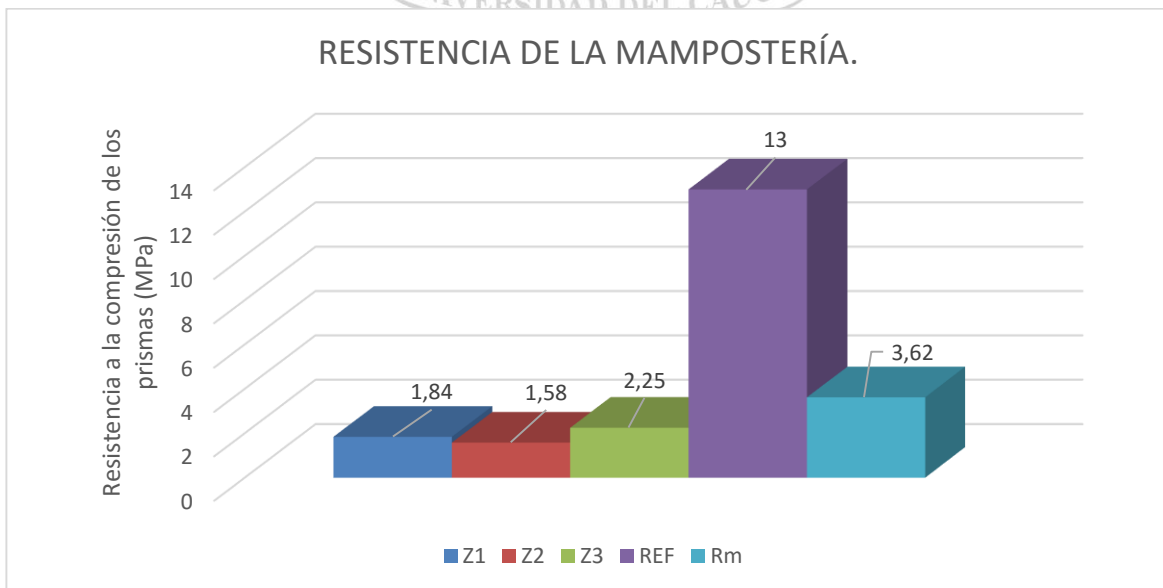
Gráfica 38. Comparación entre los valores obtenidos en el estudio, valores del estudio previo y norma NTC 4205.



Gráfica 39. Resistencia a la compresión y densidad de la unidad de mampostería.

Según la tabla 26 se puede establecer que no hay relación directa entre la densidad y la resistencia, puesto que no necesariamente a mayor densidad se presenta la mayor resistencia. Esto indica la variación presente entre unidades de diferentes fuentes para estos parámetros.

8.4 Análisis de la resistencia a la compresión en prismas de mampostería (f'm).



Gráfica 40. Comparación de la resistencia de los prismas.

Se obtuvo una resistencia a la compresión, $f'm$, de la mampostería de la zona 1 de 1.84 MPa, para la zona 2 de 1.58 MPa, y para la zona 3 de 2.25 MPa, la cual presentó la mayor resistencia; lo cual comparado con un valor de referencia para $f'm$ de 13 MPa, tomado del manual de ensayos de mampostería estructural de Luis Hébert Barrios Jaramillo de 1998, permite concluir que la resistencia a la compresión de la mampostería, conjunto ladrillo y mortero, es baja y se encuentra por debajo del 20% respecto a lo esperado. Esto indica que tanto la resistencia de la unidad, cómo se indicó en el numeral anterior, así como de la mampostería producidas en la ciudad de Popayán, están presentando valores muy por debajo de lo requerido en las especificaciones técnicas o valores de referencia indicativos de buena calidad.

Por otra parte, también difiere respecto al valor teórico con base en la calidad de los materiales (R_m) en un porcentaje del 38%, lo cual da indicios de la incidencia del mortero sobre la calidad de la mampostería.

Los criterios de aceptación y rechazo para admitir la calidad de la mampostería según el reglamento NSR-10 se citan 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”.

Con base en lo anterior se presenta la siguiente tabla:

ZONA	RESISTENCIA A LA COMPRESION	RESISTENCIA ESPECIFICADA (MPa)	80% DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESISTENCIA OBTENIDA (MPa)	RESISTENCIA OBTENIDA vs 80% RESISTENCIA ESPECIFICADA
1	Unidad de mampostería	15	12	3.29	<80%
	Mortero de prismas	12.5	10	13.74	>80%
	Mampostería ($f'm$)	13	10.4	1.84	<80%
2	Unidad de mampostería	15	12	3.7	<80%
	Mortero de prismas	12.5	10	13.74	>80%
	Mampostería ($f'm$)	13	10.4	1.58	<80%
3	Unidad de mampostería	15	12	3.37	<80%
	Mortero de prismas	12.5	10	13.74	>80%
	Mampostería ($f'm$)	13	10.4	2.25	<80%

Tabla 27. Resistencia a la compresión obtenida y especificada para unidades de mampostería, mortero de pega y prismas de mampostería.

Según el criterio de aceptación y rechazo del NSR-10 el único material que cumple es el mortero de pega ya que supera el 80% de su resistencia especificada, mientras que las unidades de mampostería y los prismas no alcanzan a superar dicho valor. De acuerdo a lo anterior, la mampostería producida en la ciudad de Popayán bajo estas condiciones, que trató de simular este estudio, no sería aceptable y es necesario desarrollar estudios más amplios y detallados que permitan calificarla de forma más precisa para evaluar su desempeño como elemento estructural principal en las edificaciones.

En la siguiente tabla se observa la relación entre la resistencia de la unidad y del conjunto unidad y mortero, mampostería.

Zona	f'm	f'cu	Proporción f'm vs f'cu
1	1.84	3.29	56%
2	1.58	3.7	43%
3	2.25	3.37	67%

Tabla 28. Comparación de f'm vs f'cu.

Es posible observar que la resistencia de la pieza es mayor que la resistencia del conjunto, en un orden del 50% -70% aproximadamente.

8.4.1 Análisis paramétrico de las unidades y la mampostería

Con base en la siguiente ecuación se presenta un análisis del comportamiento a compresión teórico de la mampostería, variando los parámetros que la definen, como lo son la resistencia de la unidad (f'cu) y la del mortero (f'cp).

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'cu + \left(\frac{50 Kp}{75+3h} \right) f'cp \leq 0,8 f'cu \quad (D.3.7 - 1)$$

A continuación, se presenta la variación que presenta Rm ante la modificación de los parámetros f'cu y f'cp.

f'cu	Rm			
	f'cp			
	7.5	12.5	17.5	22.5
3	2.52	3.22	3.91	4.60
4	3.01	3.71	4.40	5.10
5	3.51	4.20	4.90	5.59
6	4.00	4.69	5.39	6.08
7	4.49	5.19	5.88	6.58
8	4.99	5.68	6.38	7.07

Rm				
F'cu	f'cp			
	7.5	12.5	17.5	22.5
9	5.48	6.17	6.87	7.56
10	5.97	6.67	7.36	8.06
11	6.47	7.16	7.85	8.55
12	6.96	7.65	8.35	9.04
13	7.45	8.15	8.84	9.53
14	7.94	8.64	9.33	10.03
15	8.44	9.13	9.83	10.52

Tabla 29. Variación de Rm respecto a f'cu y f'cp

Hay una mayor sensibilidad de Rm ante la variación de f'cp que ante f'cu, esta no es significativa, pero sugiere que la resistencia se ve afectada levemente más por el cambio en la calidad del mortero que en la unidad de mampostería.

8.5 Análisis del módulo de elasticidad de la mampostería

El módulo de elasticidad de la mampostería elaborada con base en arcilla se puede obtener a partir de la ecuación D.5.2.-3 del Reglamento NSR 10, en función de la resistencia a la compresión de la mampostería (f'm), cuando no se tienen valores experimentales, el cual es:

$$E_m = 750 f'm \leq 20\,000 \text{ MPa}$$

El módulo de elasticidad promedio obtenido para cada una de las zonas de estudio se presenta de acuerdo a los resultados mencionados anteriormente (Numeral 8.4):

Para la zona 1 se tiene:

$$E_m = 750 * 1,84 = 1380 \text{ MPa}$$

Para la zona 2 se tiene:

$$E_m = 750 * 1,58 = 1185 \text{ MPa}$$

Para la zona 3 se tiene:

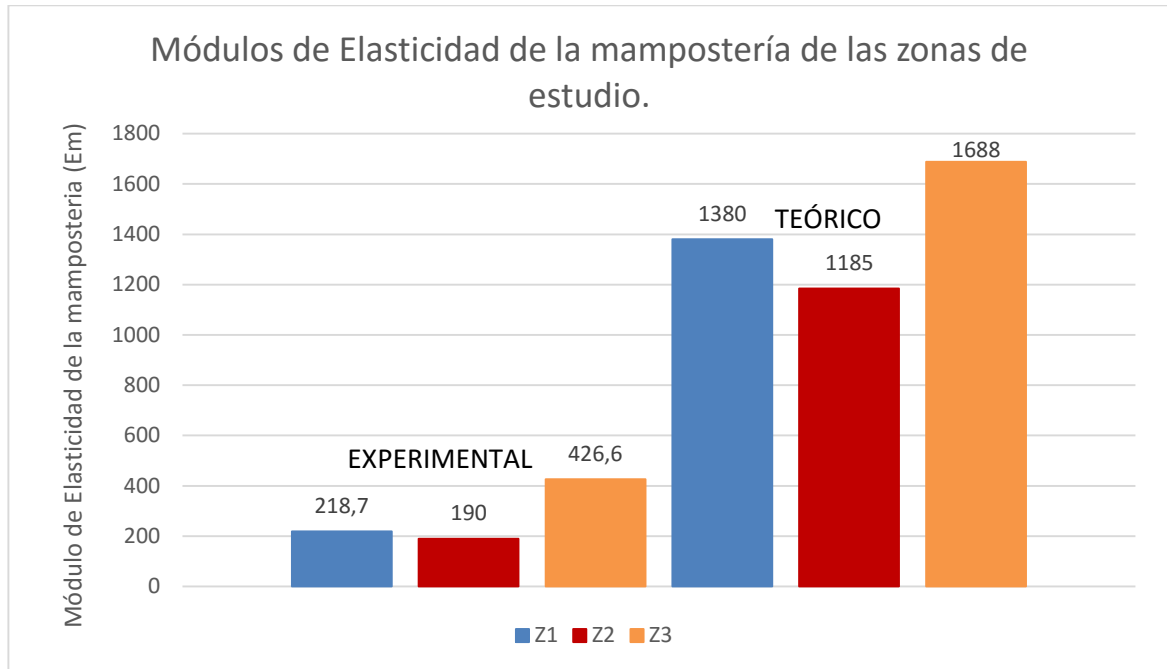
$$E_m = 750 * 2,25 = 1688 \text{ MPa}$$

Los módulos de elasticidad obtenidos mediante las gráficas esfuerzo - deformación unitaria dan los siguientes resultados:

Para la zona 1: $E_m = 218,70 \text{ MPa}$

Para la zona 2: $E_m = 190,00 \text{ MPa}$

Para la zona 3: $E_m = 426,6 \text{ MPa}$



Gráfica 41. Módulos de la mampostería teórico y experimental.

Con lo cual se puede notar que la relación planteada anteriormente no tiene aplicación para la mampostería de estudio, pues los resultados reales de los ensayos experimentales dan módulos demasiado bajos para que puedan ser comparados con los que ofrece la correlación del reglamento NSR 10.

En el Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural de la Universidad de los Andes (Barrios, 1998) se da un valor de referencia de 15000 MPa, para el módulo de elasticidad; valor muy alto comparado con los resultados obtenidos en esta investigación, pero también se conoce de un valor de referencia para la zona, dato no sustentado técnicamente y comúnmente usado para diseños y/o cálculos estructurales de 4000 MPa. Siendo este valor un 27% del valor indicado en el manual para los ensayos de mampostería. De manera similar se puede observar que los valores experimentales para las tres zonas de estudio son 5,5%; 4,75% y 10,67% de la resistencia no oficial con lo cual se percibe que no existe punto de comparación con el valor del manual de ensayos para la mampostería, además, la desviación estándar presentada fue de 132 MPa; 88,7MPa y 81,7 MPa, esto evidencia la gran dispersión que se presenta en cuanto a los valores obtenidos relativos al valor medio de cada zona de estudio.

Con base en los resultados obtenidos se puede determinar que la mampostería presenta serias deficiencias tanto en su resistencia a compresión como en su módulo de elasticidad, este último se debe directamente a la escasa resistencia que presenta, al igual que a las grandes deformaciones por unidad de longitud del material ante la aplicación de cargas, estando muy por debajo de la máxima deformación permisible para diseño por el reglamento NSR 10 en el numeral D.5.1.6.5, la cual es de 0,003.

9. Fallas presentadas en los especímenes de ensayo

A continuación se presentan las fallas para cada prisma ensayado:



Foto 29. Falla a compresión de prisma 1



Foto 30. Falla a compresión de prisma 2



Foto 31. Falla a compresión de prisma 3



Foto 32. Falla a compresión de prisma 4



Foto 33. Falla a compresión de prisma 5



Foto 34. Falla a compresión de prisma 6



Foto 35. Falla a compresión de prisma 7



Foto 36. Falla a compresión de prisma 8



Foto 37. Falla a compresión de prisma 9



Foto 38. Falla a compresión de prisma 10



Foto 39. Falla a compresión de prisma 11



Foto 40. Falla a compresión de prisma 12



Foto 41. Falla a compresión de prisma 13



Foto 42. Falla a compresión de prisma 14



Foto 43. Falla a compresión de prisma 15



Foto 44. Falla a compresión de prisma 16



Foto 45. Falla a compresión de prisma 17



Foto 46. Falla a compresión de prisma 18

Se observó que la falla presentada en los prismas fue por aplastamiento debido a las cargas axiales aplicadas sobre éste, ocurriendo grietas en varios sentidos, de las cuales en su mayoría fueron en sentido vertical y diagonal, siempre fallando primero las unidades de mampostería y extendiendo la falla al mortero, causando la desintegración parcial o total del prisma.

Para la elaboración de los prismas se seleccionó cuidadosamente piezas con similares dimensiones y en los casos que no fue posible se organizaron de manera piramidal siendo acomodados de acuerdo al tamaño del ladrillo, de mayor a menor desde la base. Esto se hizo debido a la falta de homogeneidad entre las unidades.

Universidad
del Cauca

10. CONCLUSIONES

- ✓ En el análisis de la fluidez tanto para el mortero de diseño (117.5%) como para el de la bachada (113.4%) se obtuvo el valor estipulado por la NSR-10 medio plástico (110-120%), hubo una pequeña variación en la fluidez a pesar de utilizar las mismas proporciones, esto pudo ser causado por la temperatura, mano de obra o tipo de mezcla. Este mortero puede ser empleado en estructuras de pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos, desde el punto de vista de su manejabilidad.
- ✓ La resistencia a la compresión del mortero de pega que se obtuvo a los 28 días fue efectivamente la que se buscó inicialmente en el diseño, donde se deseaba un mortero de pega tipo S (12.5 MPa), cumpliendo así con lo que especifica el NSR-10 para pega de mampostería. El mortero de diseño dió una resistencia de 13.68 MPa a los 28 días y la bachada con la que se construyeron los prismas, presentó una resistencia de 13.74 MPa a los 28 días. Claramente los valores obtenidos de resistencia son aceptables y se encuentran en el rango de 12.5 – 17.5 MPa que corresponde al mortero de pega tipo S.
- ✓ Para este estudio se obtuvo un valor de resistencia a la compresión de la unidad de mampostería entre 3.29 - 3.70 MPa teniendo en cuenta que se realizó el estudio en 3 zonas diferentes de la ciudad de Popayán y 15 ensayos por cada zona, excepto una zona adicional Z4 con la cual se realizaron 5 ensayos y se obtuvo una resistencia de 4.62 MPa. Estos valores son bajos ya que se está obteniendo el 25% de lo estipulado en la norma NTC 4205 (15 MPa para ladrillos macizos de arcilla) en cuanto a su resistencia. En general sería necesario realizar más ensayos con un mayor número de muestras para llevar un control en el tiempo de la calidad del ladrillo que se está produciendo en la ciudad.
- ✓ Según el criterio de aceptación o rechazo del reglamento NSR-10 sobre la calidad de la mampostería, la resistencia a la compresión de esta no se considera buena ya que solo el mortero de pega supera el 80% de su resistencia especificada, mientras que las unidades de mampostería y los prismas están por debajo de dicho valor. Además la resistencia que se obtuvo es el 17.3% del valor de referencia especificado en el Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural de la Universidad de los Andes (Barrios, 1998), para la resistencia a compresión de la mampostería.

- ✓ En cuanto al refrentado que se realizó con azufre y yeso, se puede decir que los resultados que se obtuvieron en los primeros ensayos donde se hizo con azufre respecto a los ensayos adicionales que se efectuaron con yeso coinciden en un 90%. Por facilidad y economía se deberían realizar estos procedimientos con yeso. La pequeña diferencia que hubo pudo ser causada por mano de obra, espesor de la capa, temperatura en que se realizó el procedimiento, entre otras.
- ✓ A pesar de que la muestra de ladrillo de tipo industrial no fue representativa, los resultados obtenidos para estas unidades fueron relativamente uniformes y dan una idea bastante acertada de la calidad de este material, en este caso su resistencia a la compresión supera de forma importante lo establecido en la norma como resistencia mínima, 15 MPa, (en un porcentaje de 150%) lo cual también corrobora la gran diferencia entre la calidad de las unidades producidas artesanalmente para la ciudad de Popayán y las elaboradas por procesos industriales provenientes de otras ciudades como Cali. La diferencias son de 18.95MPa entre el producido industrialmente y el artesanal con un porcentaje de 17% y 11.25MPa entre el artesanal y lo especificado en la norma NTC 4017 con un porcentaje de 25%.
- ✓ Algunos aspectos como el curado y manipulación tienen mucha influencia en los resultados finales de la resistencia de la mampostería, sin embargo lo que más incide en esta es la calidad de los materiales, mortero y unidad de mampostería, como se comprobó en el análisis paramétrico realizado en el numeral 8.4.1. Otra variable que afecta la calidad de esta es la mano de obra, ya que un buen o mal desempeño de quien efectúa la preparación del mortero y pega, puede ser significativo; aspectos como una mala dosificación, falta de homogeneidad en la mezcla entre otros también alteran significativamente los resultados.
- ✓ Aunque se trató de mantener constantes las variables como mano de obra, temperatura, humedad relativa, curado y materiales, se notó variaciones significativas de resultados, por medio de la desviación estándar, la cual indica que la muestra tomada fue pequeña y se requiere una de mayor tamaño que pueda representar este parámetro de resistencia, el cual puede verse alterado por varios factores, principalmente la heterogeneidad del ladrillo.

- ✓ Los resultados obtenidos en el presente estudio, así como en el estudio de Ibarra y Peña, 2014, sobre la resistencia a la compresión de las unidades y de los prismas de mampostería no satisfacen las exigencias de las normas técnicas al respecto, para ninguna de las zonas en estudio, las cuales representan los sectores más importantes de producción de ladrillo de la ciudad de Popayán; lo cual permite, a pesar del alcance limitado de estos trabajos, establecer un precedente bastante importante sobre la baja calidad de la mampostería de ladrillo macizo fabricado en la ciudad y genera la urgente necesidad de evaluar de forma más amplia este parámetro tan importante para las construcciones de este tipo, realizando un estudio con una muestra representativa mayor de cada una de las zonas de producción y también a través de un seguimiento en el tiempo de las condiciones y producción del ladrillo artesanal.
- ✓ Si bien los resultados obtenidos muestran una tendencia hacia la mala calidad de los materiales con los cuales se trabaja en la región, no se puede generalizar acerca de la calidad en todas las fuentes. La baja calidad de las unidades se debe al procedimiento artesanal que se está llevando a cabo para su producción, ya que existen deficiencias tanto en la dosificación de las materias primas (arcilla, barro, otros) que se usan para fabricar cada unidad, cómo en el proceso de fabricación como tal, amasado, prensado manual, secado, nivel de temperatura, entre otros, en general las ladrilleras desconocen de normas técnicas, procesos tecnológicos y controles de calidad.
- ✓ Si bien la correlación planteada en el reglamento NSR-10 para el cálculo del módulo de elasticidad de la mampostería puede usarse ante la falta de datos históricos esta no presentó validez para la mampostería de origen artesanal evaluada en esta investigación, puesto que las condiciones en que se establecen este tipo de ecuaciones dependen de materiales en particular los cuáles seguramente no corresponden a los que se utilizan para la ciudad de Popayán, principalmente el ladrillo el cuál se observó que presenta deficiencias importantes en su calidad al ser fabricado sin seguir procedimientos técnicos o de control calidad adecuados.
- ✓ Es necesario difundir esta información para llamar la atención o generar un poco de conciencia sobre la calidad de este material tan importante y del cual se requieren más estudios sobre el tema que permitan concluir de forma general sobre esta problemática que afecta la región.

11. RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS POSTERIORES

Debido a la gran importancia que tiene este material en la construcción y de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se hace necesario plantear unas recomendaciones para futuros estudios acerca de las propiedades mecánicas de este material:

1. Realizar un estudio de mayor alcance que abarque de manera global las ladrilleras de la región, para la evaluación de la calidad de los materiales que proceden de estas, tanto para su resistencia en ensayos a compresión como a tracción diagonal (cortante). en el cual se trabaje con mayor número de muestras de manera que estadísticamente se puedan llegar a resultados más concluyentes.
2. Aunque los ensayos se realizaron satisfactoriamente, las condiciones bajo las cuales tuvo que hacerse cada uno, no fueron las mejores, pues no se contaba con disponibilidad completa de los laboratorios que permitiera trabajar ininterrumpidamente, además de la poca optimización de recursos tecnológicos de los que disponen estos, como también fallas en aspectos funcionales entre los laboratorios de estructuras y laboratorio de materiales, haciendo hincapié en la dificultad de transportar materiales del uno hacia el otro.
3. Realizar la actualización del software del que dispone la máquina universal, o en lo posible implementar un nuevo programa que facilite la obtención de las gráficas esfuerzo - deformación unitaria de manera directa, como también valores de carga última y deformación en la falla, pues, se ha notado diferencias de resultados en cuanto a los datos obtenidos mediante el software y manuales. También es aconsejable establecer un sistema que permita hacer las lecturas de deformaciones en las muestras de manera precisa.
4. Con base en los datos obtenidos para las unidades de mampostería y dado que el refrentado se hizo con azufre en la mayoría de especímenes como también con yeso, de lo cual no se obtuvo una variación significativa en los resultados, se puede recomendar la utilización de este material en el refrentado, pues este trae consigo múltiples ventajas en comparación al azufre, las más importantes: su menor costo y trabajabilidad.

12. BIBLIOGRAFÍA.

AIS. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia. 2010.

AFANADOR, Nelson, et al. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Ciencia e ingeniería neogranadina volumen 22-1. Pp. 43-58. Santa Fe de Bogotá. 2012.

ANTEPROYECTO NMX-MURETES. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y de la rigidez a cortante de muretes de mampostería de barro y de concreto. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C., México D. F. 2003.

ARENAS GARCIA, Manuel. LUNA BADILLO, Omar. Análisis de la resistencia a la compresión de muretes en mampostería estructural tipo E-9, E-11 y terminal. Universidad Pontificia Bolivariana. 2006.

BARRIOS JARAMILLO, Luis Hébert. Tesis Manual de ensayos de laboratorio de mampostería estructural. Santa Fe de Bogotá. Universidad de los Andes. 1998.

CUELLAR E. ET AL. Evaluación de la resistencia a la fractura de los ladrillos de barro fabricados por compresión. Trabajo de grado no publicada, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". San Salvador. 2006

FERNANDEZ BAQUEIRO, ET AL. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 41-50, ISSN: 1665-529X. 2009.

GUTIERREZ JUNCO, Oscar Javier. Mampostería estructural. Santa Fe de Bogotá. Universidad de los Andes. 2003.

HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para la construcción tipos, usos y aplicaciones. México. Editorial Limusa S.A. de C.V. 1999

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Santa Fe de Bogotá. Tercera Edición. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo (INV-2007). Santa Fe de Bogotá. 2007.

MARÍN GÓMEZ F. J. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de piezas de concreto. Tesis de Maestría en

Ingeniería opción Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 2008.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). Santa Fe de Bogotá. 2010.

MINISTERIA DE EDUCACION NACIONAL. Normas técnicas Colombianas (NTC). Santa Fe de Bogotá. 2012.

NAVAS CARRO, Alejandro. Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. San José de Costa Rica. 2007.

LUZURIAGA, German; UREÑA, Juan. Tesis análisis del comportamiento mecánico de mampostería no reforzada de bloque prensado bajo cargas de compresión axial y diagonal. Quito. 2007.

MEDINA MANOSALVA, Cristian, MORENO RINCON, Ronald. Caracterización de los materiales y estudio del refrentado de unidades de mampostería. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana. 2006.

PAEZ M, Diego Fernando. Comportamiento de la mampostería bajo esfuerzos cortantes debidos a efectos sísmicos. 2005

PEÑA, Jesús; IBARRA, Lady. Tesis Montaje y elaboración de ensayos a compresión en prismas y compresión diagonal en muretes de mampostería. Popayán. 2014.

RIVERA LOPEZ, Gerardo Antonio. Concreto Simple. Popayán. Taller editorial Universidad del Cauca. 2012.

SANCHEZ, Ana; MEJIA, Fredy. Tesis 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.

TAKEUCHI C. Comportamiento en la mampostería estructural, Universidad Nacional de Colombia, Santa fe de Bogotá, 2007.

13. ANEXOS.

ANEXO 1. FORMATO PARA REGISTRO DE INFORMACIÓN : UNIDADES DE MAMPOSTERÍA						
LADRILLO	PROCEDENCIA	DIMENSIONES		ÁREA	CARGA ÚLT.	ESFUERZO
N°		LARGO	ANCHO	cm2	KN	MPa
1						
PROMEDIO						
2						
PROMEDIO						
3						
PROMEDIO						
4						
PROMEDIO						
5						
PROMEDIO						
6						
PROMEDIO						
7						
PROMEDIO						
8						
PROMEDIO						

ANEXO 2. FORMATO PARA REGISTRO DE INFORMACIÓN: PRISMAS

PRO CED	PRISMA N°	DIMENSIONES			ÁREA cm ²	CARGA ÚLT.		LECTURA		DEFORMACIÓN		ESFUERZO	
		LARGO	ANCHO	ALTURA		KN		DEFORM.		L*k (mm)		Mpa	
	1												
	PROM.												
	2												
	PROM.												
	3												
	PROM.												
	4												
	PROM.												
	5												
	PROM.												
	6												
	PROM.												

Universidad
del Cauca