



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Análisis paramétrico para determinar el comportamiento estructural de fachadas de adobe

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Civil

Autores:

Cristina Estefanía Arcentález Astudillo

Diego Raúl Pizarro Carchi

Director:

Ángel Julver Pino Velásquez

ORCID:  0000-0003-3614-1465

Xavier Ricardo Cárdenas Haro

ORCID:  0000-0001-5063-7366

Cuenca, Ecuador

2023-06-16

Resumen

El centro histórico de Cuenca se ha convertido en un atractivo turístico, especialmente por sus fachadas patrimoniales construidas con tierra, esto ha llevado a las personas dueñas de estas edificaciones a modificarlas para diferentes usos como restaurantes, parqueaderos ,etc., se encuentran modificaciones tales como aberturas de vanos para puertas, ventanas y entradas vehiculares, además de cambios y renovaciones en sus cubiertas, provocando variaciones en las cargas verticales que soportan los muros de adobe. Por lo tanto, el presente trabajo toma estos cambios como parámetros a variar para determinar los comportamientos estructurales de dichas fachadas. Con esta finalidad se han realizado modelos CAD 3D con las diferentes configuraciones geométricas, los cuales utilizando métodos de elementos finitos se han realizado simulaciones a través de un software en el cual se analizan micro – modelos, dichos métodos requieren de datos físicos y mecánicos de los elementos que componen los muros, los cuales se han determinado en laboratorio y se han calibrado en el software empezando con un análisis de bloques individuales, luego muretes hasta llegar a los muros compuestos de mortero y adobe, así como dinteles y vigas. Los resultados que arroja el software indican daños en zonas como esquinas de puertas y ventanas, además de daños en los centros de los vanos a medida que aumentan las cargas. Finalmente se ha determinado que las construcciones que cumplen con las recomendaciones de la norma independientemente del parámetro estudiado tienden a comportarse de mejor manera que las demás modificaciones realizadas.

Palabras clave: adobe, fachadas, elementos finitos, CAD 3D, comportamiento estructural, muros, simulación numérica

Abstract

The historic center of Cuenca has become a tourist attraction, especially for its heritage facades built with earth, this has led the owners of these buildings to modify them for different uses such as restaurants, parking lots, etc., there are modifications such as openings for doors, windows and vehicular entrances, as well as changes and renovations in their roofs, causing variations in the vertical loads supported by the adobe walls. Therefore, the present work takes these changes as parameters to be varied in order to determine the structural behavior of these facades. For this purpose, 3D CAD models with different geometric configurations have been made, which using finite element methods have been simulated through a software in which micro-models are analyzed. These methods require physical and mechanical data of the elements that make up the walls, which have been determined in the laboratory and calibrated in the software starting with an analysis of individual blocks, then walls until reaching the walls composed of mortar and adobe, in addition to wooden elements such as lintels and beams. The results of the software indicate damage in areas such as corners of doors and windows, as well as damage in the centers of the openings as the loads increase. Finally, it has been determined that the constructions that comply with the recommendations of the standard, regardless of the parameter studied, tend to perform better than the other modifications made.

Keywords: adobe, facades, finite elements, 3D CAD, structural behavior, walls, numerical simulation

Índice de contenido

Capítulo 1: Introducción y Objetivos.....	13
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Objetivo General.....	14
1.3. Objetivos Específicos.....	14
Capítulo 2: Estado del arte.....	15
2.1. Introducción.....	15
2.2. Historia de las edificaciones de adobe.....	15
2.3. Técnica constructiva.....	17
2.3.1. Elaboración de Adobes	17
2.3.2. Técnica constructiva para elaboración de muros de adobe.....	19
2.4. Principales características del adobe.....	20
2.5. Normativa nacional e internacional.....	21
2.6. Vulnerabilidad Estructural.....	22
2.7. Conclusiones.....	23
Capítulo 3: Caracterización Física y Mecánica del Adobe.....	24
3.1. Introducción	24
3.2. Preparación de Muestras	24
3.3. Normativas	25
3.4. Caracterización Física del Adobe.....	26
3.4.1. Humedad Natural.....	27
3.4.2. Límites de Atterberg.....	28
3.4.3. Granulometría.....	29
3.5. Propiedades mecánicas del adobe	31
3.5.1. Preparación de Muestras	31
3.5.2. Equipos.....	32
3.5.3. Resistencia a la compresión	33
3.5.4. Módulo de elasticidad	40
3.5.5. Resistencia a la flexión	42

3.5.6. Resistencia a la compresión de muretes.....	46
3.5.7. Resistencia a la Compresión Diagonal	48
3.6. Comparación con Normativa.....	51
3.7. Conclusiones	52
Capítulo 4: Configuración geométrica y estructural de los casos de estudio	54
4.1. Introducción.....	54
4.2. Análisis del caso de estudio.....	55
4.2.1. Parametrización para el caso de estudio.....	55
4.3. Configuración geométrica de los muros de adobe	56
4.4. Configuración estructural de los casos de estudio	64
4.5. Conclusiones	65
Capítulo 5: Modelación de fachadas de adobe y determinación de la capacidad estructural	67
5.1. Introducción.....	67
5.2. Principales parámetros para modelación	68
5.3. Definición y calibración de los modelos de estudio	78
5.3.1. Ensayo a compresión de bloques adobes.....	78
5.3.2. Ensayo a flexión de bloques de adobes	80
5.3.3. Ensayo a compresión de muretes	82
5.3.4. Ensayo de compresión diagonal de muretes.....	84
5.4. Capacidad de carga de los muros de adobe para diferentes configuraciones geométricas.....	85
5.4.1. Fachada Actual	86
5.4.2. Fachada Garaje	89
5.4.3. Fachada Norma	92
5.5. Conclusiones.....	95
Capítulo 6: Conclusiones y líneas de investigación	97
6.1. Conclusiones.....	97
6.2. Líneas de investigación futura	98

Referencias.....	99
Anexos.....	102
Anexo A. Datos de laboratorio de ensayo de contenido de humedad	102
Anexo B. Datos de laboratorio de ensayo de Límites de Atterberg	103
Anexo C. Datos de laboratorio de ensayo de análisis granulométrico	104
Anexo D. Datos de ensayos a compresión de bloques de adobe	105
Anexo E. Datos de ensayos a flexión de bloques de adobe	117
Anexo F. Datos de ensayos a compresión de cubos de adobe	129
Anexo G. Datos de ensayos a compresión de muretes	141
Anexo H. Datos de ensayos a compresión diagonal de murete	143

Índice de figuras

Figura 1. Hotel Santa Lucia, Cuenca.....	14
Figura 2. Pirámide de Sol. Zona Arqueológica de Teotihuacan, Estado de México. (Cowrie, 2008)	16
Figura 3. Putuco. Vivienda tradicional del altiplano de Puno elaborado a base de bloques de barro y pasto. (Andina, 2015).....	16
Figura 4. a). Preparación de la tierra en el cráter; b). Tierra luego del proceso de batido....	18
Figura 5. a). Compresión de tierra en molde de madera con las manos; b). Compresión de tierra en molde de madera con los pies; c). Desmoldeado de adobes	18
Figura 6. Secado y apilado de bloques de adobe.....	19
Figura 7. Límites Geométricos de muros y vanos. (Norma E.080, 2017).....	20
Figura 8. Adobera Sígsig	24
Figura 9. a). Esquema de ensayo a compresión; b). Ensayo a compresión, laboratorio.....	34
Figura 10. a). Fisuras en el canto derecho del adobe; b). Fisuras en la testa delantera del adobe; c). Fisuras en el canto izquierdo del adobe; d) Fisuras en la testa trasera del adobe	34
Figura 11. Resultados de ensayos a compresión de bloques de adobe m1 a m6	35
Figura 12. Resultados de ensayos a compresión de bloques de adobe m7 a m12	35
Figura 13. Esfuerzos máximos de compresión de adobes de la muestra 1 a la muestra 6..	36
Figura 14. Esfuerzos máximos de compresión de adobes de la muestra 7 a la muestra 12	36
Figura 15. Resultados de ensayos a compresión de cubos de adobe de M1 a M6	37
Figura 16. Resultados de ensayos a compresión de cubos de adobe de M7 a M12	38
Figura 17. Esfuerzos máximos de compresión de cubos de adobe de la muestra 1 a la muestra 6	39
Figura 18. Esfuerzos máximos de compresión de cubos de adobe de la muestra 7 a la muestra 12.....	39
Figura 19. Método para calcular el módulo de elasticidad	41
Figura 20. a). Esquema de ensayo a flexión; b). Ensayo a flexión, laboratorio.....	42
Figura 21. a). Ubicación del bloque de adobe en el equipo a flexión; b). Revisión de puntos de falla luego del ensayo a flexión; c). Fisura diagonal vista desde el canto derecho del adobe; d). Fisura diagonal vista desde el canto izquierdo del adobe	43
Figura 22. Resultados de ensayos a flexión de bloques de adobe de m1 a m6	44
Figura 23. Resultados de ensayos a flexión de bloques de adobe de m7 a m12	44
Figura 24. Esfuerzos máximos de flexión de adobes de la muestra 1 a la muestra 6.....	45
Figura 25. Esfuerzos máximos de flexión de adobes de la muestra 7 a la muestra 12.....	45
Figura 26. Dimensiones de muretes para ensayo a compresión	46

Figura 27. a). Esquema de ensayo de compresión de murete; b) Ensayo a la compresión de murete, laboratorio.....	47
Figura 28. Ensayo a compresión de murete.....	47
Figura 29. Resultados de ensayos a compresión de muretes de adobe.....	48
Figura 30. Dimensiones de muretes para ensayo de compresión diagonal.....	49
Figura 31. a). Esquema de ensayo de compresión diagonal de murete; b). Ensayo de compresión diagonal de murete, laboratorio	49
Figura 32. a). Murete recién elaborado; b). Murete sometido a cargas diagonales	50
Figura 33. Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete de adobe.....	51
Figura 34. Ubicación de la edificación de interés	54
Figura 35. Estado actual de la edificación	56
Figura 36. Modelo CAD de la fachada seleccionada.....	56
Figura 37. Aparejo inglés. (Franco, 2015)	57
Figura 38. Interfaz inicial del software	57
Figura 39. Edición del boceto.....	58
Figura 40. Modelo de hiladas en 3D.....	58
Figura 41. Modelado de hiladas par e impar en software CAD.....	58
Figura 42. Opción Ensamblaje en software 3D	59
Figura 43. Ensamblaje de hiladas en software 3D	59
Figura 44. Modelado CAD de muro de adobe	60
Figura 45. Apertura de vanos para puertas y ventanas	60
Figura 46. Viga collar. (Giles et. al, 2010.)	62
Figura 47. Esquema de cubierta actual.....	64
Figura 48. Esquema de cubierta moderna	64
Figura 49. (a) Mampostería; (b) Micro – Modelo; (c) Macro – Modelo. (Campbell J. 2012) .	68
Figura 50. Interfaz de la sección Diseñar de programa de elementos finitos.....	70
Figura 51. Interfaz de la sección Reparar de programa de elementos finitos	70
Figura 52. Interfaz de la sección Preparar de programa de elementos finitos	70
Figura 53. a). Geometría optimizada del mortero para la simulación del ensayo a compresión diagonal; b). Geometría optimizada de los adobes para la simulación del ensayo a compresión diagonal	71
Figura 54. Biblioteca de materiales para la simulación.....	72
Figura 55. Mallado global en un ensayo a compresión de un bloque de adobe	73
Figura 56. Selección de tipo de físicas utilizadas en la simulación	73
Figura 57. Angulo normal de curvatura	74
Figura 58. Opciones del “Sizing” para el mallado de un elemento a compresión.....	74

Figura 59. Selección de la métrica a ser utilizada en la simulación	75
Figura 60. Interfaz para el refinamiento de malla local	76
Figura 61. Mallado final de un elemento usando métodos de refinamiento	77
Figura 62. Interfaz de sección Static Structural	78
Figura 63. a). Resultado de ensayo a compresión de bloques de adobe en la simulación numérica; b)., c). y d). Resultados de ensayo a compresión de bloques de adobe en laboratorio.....	79
Figura 64. Datos de Laboratorio vs Simulación Numérica Compresión.....	80
Figura 65. a). Resultado de ensayo a flexión de bloques de adobe en la simulación numérica; b). y c). Resultados de ensayo a flexión de bloques de adobe en laboratorio	81
Figura 66. Datos de Laboratorio vs Simulación Numérica Flexión	82
Figura 67. a). Resultado de ensayo a compresión de murete en la simulación; b). Resultado de ensayo a compresión de murete en laboratorio.....	83
Figura 68. a). Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete en la simulación; b). Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete en laboratorio	85
Figura 69. a). Esfuerzos en Fachada Actual con Escalera; b). Esfuerzos en Fachada Actual Sin Viga; c). Deformaciones en Fachada Actual con Tablón; d). Deformaciones en Fachada Actual Sin Viga.....	87
Figura 70. Esfuerzo Máximo de Fachada Actual	89
Figura 71. Deformación Máxima de Fachada Actual	89
Figura 72. a). Deformaciones en Fachada de Garaje sin Viga Collar; b). Deformaciones en Fachada de Garaje con Viga Tablón; c). Deformaciones en Fachada de Garaje con Escalera	90
Figura 73. Esfuerzo Máximo de Fachada Garaje	92
Figura 74. Deformación Máxima de Fachada Garaje	92
Figura 75. a). Deformaciones en Fachada Norma con Viga Anillo b. Esfuerzos en Fachada Norma con Viga Anillo.....	93
Figura 76. Esfuerzo Máximo de Fachada Norma	95
Figura 77. Deformación Máxima de Fachada Norma	95

Índice de tablas

Tabla 1. Normas utilizadas para los ensayos	25
Tabla 2. Resultados de límites e índices de plasticidad	29
Tabla 3. Números de tamices utilizados en el ensayo.....	30
Tabla 4. Tipos de ensayos y números de muestras correspondientes a cada uno	32
Tabla 5. Equipos utilizados en los ensayos.....	32
Tabla 6. Esfuerzos a compresión de cada lote de muestras	40
Tabla 7. Resultados de los Módulos de Elasticidad	41
Tabla 8. Valores máximos de ensayo a compresión de muretes de adobe	48
Tabla 9. Resultados de Esfuerzo máximo en ensayos de compresión diagonal.....	51
Tabla 10. Comparación de resultados con Norma E.080	52
Tabla 11. Distancias de empotramiento del dintel.	61
Tabla 12. Modelado CAD de fachadas.....	63
Tabla 13. Códigos de los modelos a simular	65
Tabla 14. Propiedades mecánicas de los materiales.....	69
Tabla 15. Valores de la métrica según el método Jacobian Ratio	75
Tabla 16. Características de los bloques de adobe para el ensayo a compresión.....	78
Tabla 17. Comparación de resultados de ensayo a compresión de bloques de adobe	80
Tabla 18. Características de los bloques de adobe para el ensayo a flexión.....	81
Tabla 19. Comparación de resultados de ensayo a flexión de bloques de adobe	82
Tabla 20. Características de los elementos del murete para el ensayo a compresión.....	83
Tabla 21. Comparación de resultados de ensayo a compresión de murete	84
Tabla 22. Características de los elementos del murete para el ensayo a compresión diagonal	84
Tabla 23. Comparación de resultados de ensayo a compresión diagonal de murete	85
Tabla 24. Resultados de simulación de fachada actual.....	88
Tabla 25. Resultados de simulación de Fachada Garaje	91
Tabla 26. Resultados de simulación de Fachada Norma	94

Dedicatoria

A mis abuelos **Remigio** y **Cristina**, aunque no estén físicamente, siguen siendo mi pilar fundamental para seguir adelante en la vida.

Cristina

A mis padres **Raúl** e **Isabel** por su apoyo incondicional y por estar siempre para mí, motivándome a seguir adelante e inculcándome valores, a mi hermano **Andrés** que con su compañía siempre alegró mis días, a mis hermanas **Sandra** y **Gabriela** por darme siempre palabras de apoyo y a mi abuelito **Miguel** que me cuida desde el cielo y a quien llevaré siempre en mi corazón.

Raúl

Agradecimientos

A mis padres **Pietro** y **Cecilia** por siempre estar para mí en cada momento bueno y malo, apoyándome y motivándome para no rendirme, no hay palabras para expresar mi amor y gratitud por todo el esfuerzo que han hecho para que yo culmine mi carrera.

A mi tutor **Ing. Xavier Cárdenas** por su bondad, apoyo incondicional y paciencia en este largo periodo.

A mis hermanos **Josué** y **Wilmer**, aunque estén lejos siempre están presentes con llamadas o mensajes de apoyo, ustedes son mi inspiración para alcanzar mis metas.

A mi mejor amigo **Diego** a quien le agradezco por todo su apoyo, compañía y sobre todo su paciencia para compartirme sus conocimientos.

A mis amigos **Frank**, **David** y **Christian** con quien he compartido dentro y fuera de las aulas, gracias por su apoyo incondicional.

Cristina

A mi director, **Ing. Xavier Cárdenas** por su constante apoyo, motivación y paciencia durante este largo trayecto.

A mis amigos **Frank**, **David**, **Bruno**, **Doménika** y **Ma. José** por ser parte de esta etapa de mi vida, por todas las experiencias vividas y siempre mostrarme su apoyo en las buenas y en las malas.

A mi mejor amiga **Cristina** que con su paciencia y su carisma siempre estuvo presente para levantarme y animarme a seguir adelante.

Raúl

Capítulo 1: Introducción y Objetivos

1.1. Planteamiento del problema

El 30% de la población mundial vive en construcciones hechas de tierra secada al sol, Houben además precisa que el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbana marginal, viven en este tipo de edificaciones.

La utilización de la tierra en la construcción está diversificada entre, edificaciones, monumentos, murallas, etc. Autores como (Minke, 2005) o (Neves y Borges, 2011) describen múltiples técnicas utilizadas como la tierra apisonada (tapial), el bahareque o el adobe.

Según la United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO WHC, 2023), existen ciento cincuenta ciudades declaradas patrimonio cultural de la humanidad esencialmente por la arquitectura donde predominan las estructuras de tierra, en Ecuador estas ciudades son: Quito y Cuenca. La arquitectura de tierra representa alrededor del 20% del total de sitios del Patrimonio Mundial.

Una de las técnicas constructivas más usadas en nuestro medio es el Adobe y está ligada a la Arquitectura Vernácula, es decir la mayoría de estas edificaciones no responden a criterios o lineamientos técnicos en su fase de construcción. Además, investigadores peruanos como (Tarque et al., 2014) y (Blondet et al., 2011) mencionan la alta vulnerabilidad de las edificaciones de adobe ante diferentes situaciones externas tales como cargas, clima, etc.

Según el Censo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2010), mencionan que en Cuenca existen 21300 casas de tierra, de las cuales el 55% están en estado regular y el 23% en estado malo, al habitar en la ciudad de Cuenca y tener un número considerable de edificaciones de adobe, nos lleva a preguntarnos: ¿Cuál es el comportamiento estructural de este tipo de edificaciones?

Por ello es imprescindible realizar trabajos o estudios estructurales en este tipo de construcciones, para identificar el comportamiento de los muros de adobe mediante análisis paramétrico, solo así podremos entender de mejor manera el funcionamiento de estas estructuras.

Este estudio permitirá conocer el desempeño y la capacidad estructural de estas construcciones, permitiendo tener herramientas para actuar en la elaboración de planes de contingencia y poder afrontar procesos de rehabilitación, conservación y mantenimiento de forma técnica, solo así se pueda mitigar la pérdida de vidas humanas y alertar sobre los daños que puedan sufrir las construcciones patrimoniales como las que se observan en la Figura 1.



Figura 1. Hotel Santa Lucia, Cuenca

1.2. Objetivo General

Conocer el desempeño y la capacidad estructural de muros de adobe con diferentes configuraciones geométricas, mediante análisis paramétrico.

1.3. Objetivos Específicos

1. Determinar las características físicas y mecánicas del adobe.
2. Establecer los principales parámetros que intervienen en la capacidad estructural de muros de adobe.
3. Determinar el comportamiento estructural de los muros de adobe aplicando análisis paramétrico.

Capítulo 2: Estado del arte

2.1. Introducción

El interés por parte de estudiantes, investigadores y autoridades sobre el estudio de las construcciones de mampostería específicamente de barro, nace debido a que varias ciudades importantes del mundo albergan centros históricos y reconocidos por organismos internacionales, estos en su mayoría son agraciadas estructuras de tierra.

El uso de la tierra como material de construcción viene de años atrás, sus aplicaciones y técnicas constructivas varían dependiendo los tipos de suelos y materiales complementarios que se encuentran a disposición de las diferentes zonas. La tierra se puede procesar de diferentes maneras, como por ejemplo de forma compactada o apisonada, bloques extraídos directamente del suelo y adobes elaborados con materiales adicionales como paja, abono de animales, carrizo, etc. Por lo tanto, se realiza una descripción del rol que cumple la tierra en las edificaciones a lo largo de su historia y en un futuro, siempre y cuando estas sean conservadas, además de técnicas constructivas más relevantes, las características más importantes del adobe, las normas con las cuales se trabaja este material para un correcto funcionamiento estructural. (Minke, 2005)

La ventaja de trabajar con tierra es sin duda la diversidad de técnicas que se pueden aplicar en la construcción, siendo entre las más utilizadas la del adobe, bahareque, la tapia pisada o tapial como se conoce localmente, tapia fundida, bloques comprimidos, técnicas mixtas que combinan la tierra con otros materiales y técnicas modernas como paneles prefabricados. (CRATerre, 2002)

2.2. Historia de las edificaciones de adobe

Las construcciones con barro datan de hace aproximadamente diez mil años, es decir, en épocas a.C. según (Pumpelly, 1908), estas fueron descubiertas en Turquestán, Asia Central. La mayoría de culturas antiguas usaban las construcciones de tierra para levantar fortalezas y obras religiosas. Incluso la Gran Muralla China que fue construida entre el siglo V a.C. y el siglo XVI que al día de hoy tiene importantes modificaciones, inicialmente se construyó con tapial y cubierta con piedras y ladrillos, dándole la apariencia de muro de piedra. En Latinoamérica la obra más representativa es la Pirámide del sol en Teotihuacán, en México (Figura 2) que se tienen registros que fue construida entre los años 300 y 900, está constituida por dos millones de toneladas de tierra apisonada.



Figura 2. Pirámide de Sol. Zona Arqueológica de Teotihuacan, Estado de México. (Cowrie, 2008)

En Latinoamérica las culturas que más hicieron el uso de adobe para sus construcciones fueron las precolombinas. Perú, es considerado como uno de los países pioneros en este tipo de construcciones como se observa en la Figura 3, dado el nivel de difusión y su permanencia a lo largo del tiempo han elaborado especificaciones técnicas para el levantamiento de viviendas de adobe, seguras e incluso sismorresistentes.



Figura 3. Putuco. Vivienda tradicional del altiplano de Puno elaborado a base de bloques de barro y pasto. (Andina, 2015).

2.3. Técnica constructiva

2.3.1. Elaboración de Adobes

- **Elección de la tierra**

Antes de elaborar los adobes es importante conocer las características de la tierra con la que se trabaja ya que de esta depende su calidad. Los suelos que se componen de materiales como arena, arcilla y limo son los más adecuados para este proceso, sin embargo, se puede utilizar todo tipo de tierra siempre y cuando se cumplan las proporciones óptimas de materiales, (CRATerre, 1990) recomienda los siguientes porcentajes:

- a. Arena: 55 % - 75 %
- b. Limos: 10 % - 28 %
- c. Arcillas: 15 % - 18 %
- d. Materia orgánica: <3 %

En caso de que los valores excedan los recomendados se pueden presentar los siguientes casos:

- a. Exceso de arcilla: Fisuras en bloques en el proceso de secado, poca resistencia a la erosión.
- b. Exceso de arena: Poca cohesión entre partículas provocando disgregación.
- c. Exceso de materia orgánica: Inestabilidad con el tiempo debido a su descomposición provocando porosidad y baja resistencia a la humedad.

- **Preparación de la tierra**

Para la fabricación de adobe primero se criba el suelo para eliminar piedras, se humedece el material por 24 horas, a este proceso se lo conoce tradicionalmente como “podrido”. A este barro, de ser necesario se le incorpora paja o pasto seco, se bate hasta tener una consistencia pastosa y homogénea como se muestra en la Figura 4. b)., para esto se puede usar los pies dentro de un cráter cuando se trabaja de forma tradicional esto se indica en la Figura 4. a).

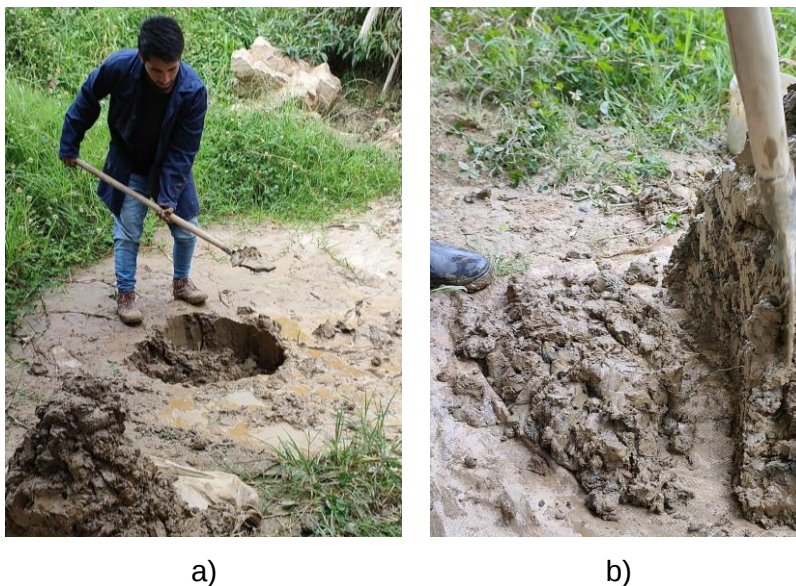


Figura 4. a). Preparación de la tierra en el cráter; b). Tierra luego del proceso de batido

- **Moldeado y Desmoldeado**

Por lo general se utilizan moldes de madera gruesa procurando que esta no tenga grandes deformaciones para que el adobe sea lo más uniforme posible. Se empieza formando una bola de tierra húmeda la cual se va comprimiendo con las manos para expulsar el aire en los moldes buscando que tome la forma del mismo como se indica en la Figura 5. a) y b), a este proceso se lo conoce como “golpe de arena” (CRATerre,1990), para evitar que el material se pegue en el molde se recomienda humedecerlo y antes de llenar de material es necesario espolvorear arena fina en sus paredes interiores y alrededor de la bola. Se retira con cuidado el molde de forma vertical sobre una superficie plana para evitar que el adobe sufra deformaciones o desprendimientos indicado en la Figura 5. c).



Figura 5. a). Compresión de tierra en molde de madera con las manos; b). Compresión de tierra en molde de madera con los pies; c). Desmoldeado de adobes

- **Secado y Almacenamiento**

Después de retirar los moldes se dejan secar los adobes bajo sombra para evitar que se presenten fisuras, además tratar de que estos estén protegidos de las aguas lluvias ya que pueden provocar el deterioro del adobe. A los cuatro o cinco días se voltean con el fin de que el secado sea uniforme. Unas semanas después se puede apilar los adobes como se indica en la Figura 6. para después de 28 días poder ser usados.



Figura 6. Secado y apilado de bloques de adobe

Una de las ventajas de trabajar con el barro es la seguridad ya que no atenta contra la piel de las personas que manipulan este material, contrario a lo que sucede con la cal y el cemento. El adobe no tiene una composición única ya que depende la zona y las costumbres de quienes los realizan, estos pueden llevar paja y otros componentes. Una persona dedicada a la elaboración de adobes realiza aproximadamente 300 adobes por día, esto varía dependiendo el tamaño de los mismos. Estas técnicas en la elaboración de adobes son muy comunes en el Ecuador dado que la mayoría de personas que se dedican a esta actividad son artesanos.

2.3.2. Técnica constructiva para elaboración de muros de adobe

En la construcción de muros de adobe se debe considerar sus características mecánicas y los riesgos que la humedad provoca, debido a esto en la actualidad se usan técnicas de construcción que consisten principalmente en muros de carga, se diseñan para soportar cargas verticales (peso propio, cubiertas y otros), cargas de servicio (carga viva) y sobre todo garantizar una edificación sismo resistente.

Según la Norma (NEC SE, 2015), que deriva en la (Norma E.080, 2017) conocida como Diseño y Construcción con Tierra Reforzada que indica en el Artículo 3.- Definiciones dice que las Edificaciones de Tierra Reforzada está compuesta por las siguientes estructuras:

cimentación (cimiento y sobrecimiento), muros, entrepisos y techos, arriostres (verticales y horizontales), refuerzos y conexiones.

Para el levantamiento de un muro se toma en cuenta que para unir los adobes se utiliza mortero hecho con barro y agua, en ocasiones se puede utilizar cal hidráulica para una mayor adherencia. Para evitar fisuras por la retracción del mortero en el proceso de secado se utiliza arena gruesa, en caso de no tener a disposición se realiza juntas delgadas, de esta manera se evita las fisuras. El espesor de los morteros puede variar de 5 mm a 20 mm.

Además, la (Norma E.080, 2017) en el Artículo 6.- Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada indica los límites geométricos de muros y vanos indicados en la Figura 7. También menciona que el ancho mínimo del muro es de 0.40 m, aunque existen muros con distintos espesores debido a las diferentes dimensiones en la fabricación.

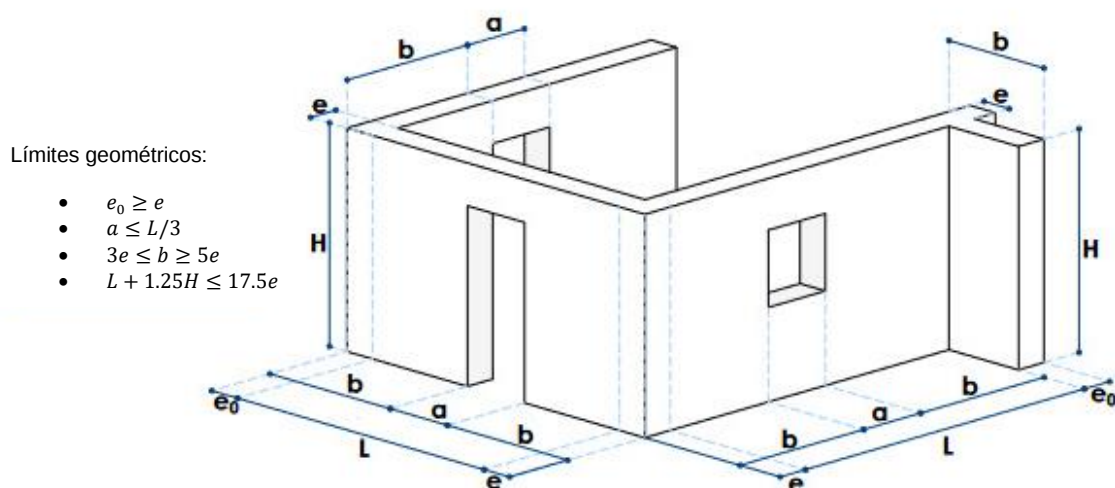


Figura 7. Límites Geométricos de muros y vanos. (Norma E.080, 2017)

2.4. Principales características del adobe

El adobe es una unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad. (Norma E.080, 2017)

En la fabricación de adobes es importante tomar en cuenta que no cualquier tierra es apta para su elaboración, por eso es importante tomar en cuenta los porcentajes de componentes para que la tierra sea adecuada para la construcción, esta tierra debe contener porcentajes adecuados de arcilla y arena, por esto es necesario realizar ensayos de campo para su correcta determinación. La arcilla actúa como aglomerante y limos, arena y otros constituyen rellenos en la tierra. Una correcta distribución de tamaños de partículas no deja huecos por lo tanto es más resistente.

En cuanto a las dimensiones del adobe, un bloque rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho y la altura del bloque de adobe debe medir entre 8 cm y 12 cm. (Norma E.080, 2017).

El adobe es muy sensible a los ataques de humedad por lo que en toda obra realizada con adobes se debe evitar el contacto directo con agua, para esto se utilizan métodos constructivos adicionales como levantamiento de paredes de adobe construidos con sobrecimientos para evitar la humedad del suelo y en los techos se dejan aleros largos tal que la lluvia no caiga sobre las paredes. Referente al comportamiento térmico se puede clasificar como higroscópico ya que se acopla a las condiciones climáticas manteniendo el calor o el frío, el coeficiente de conductividad varía entre 0.46 y 0.81 W/mK, por esto se le considera como aislante, sin embargo, también influye directamente el espesor del muro. (Moscoso, 2016)

a) Ventajas

El adobe y sus posteriores construcciones artesanales no necesariamente requieren de sistemas constructivos complejos, es decir, hay un ahorro de energía considerable por el innecesario uso de maquinaria, el material es aislante acústico y térmico, resistente al fuego y dado que en muchos lugares la tierra se extrae de los propios terrenos de construcción se hace posible una autoconstrucción, tiene bajos costos de operación y la mano de obra no requiere ser especializada.

b) Desventajas

Para elaborar edificaciones se necesitan espacios más grandes que las que se realizan en la actualidad con paredes de bloque, ladrillo y elementos prefabricados, pero se debe tener en cuenta que la capacidad estructural no se queda lejos de los otros materiales, sin embargo, actualmente se ha dejado de lado este método constructivo por la poca información que se tiene respecto a estas construcciones. Existen personas que no cuentan con una casa digna para sobrevivir y usar la tierra como material para construcción podría ser parte de una solución, por esta razón se deben potenciar las técnicas de construcción para obtener edificaciones seguras y confortables.

2.5. Normativa nacional e internacional

En el Ecuador la norma que rige con respecto a las construcciones de adobe es la (NEC, 2015), que se conoce como el Capítulo 10: VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS CON LUCES DE HASTA 5 METROS. En esta se puede encontrar sistemas estructurales y coeficientes de reducción a respuestas estructurales, muros portantes de adobe, elementos de vivienda de

adobe y precauciones que se deben tomar en materia antisísmica, esta norma tiene como referencia la norma del Perú, (Norma E.080, 2017) titulada como Diseño y Construcción con tierra Reforzada.

La norma peruana indica requisitos que se deben cumplir como las condiciones de la tierra que se utiliza para los adobes, preparación del adobe y mortero, además del reforzamiento. Adicionalmente indica los tipos de ensayos de laboratorio para la determinación de esfuerzos que actúan en diferentes construcciones de adobe.

Existen otras normas cercanas a esta región redactadas en los Estados Unidos estas son, la (ASTM E2392, 2010) y (NMAC 14.7.4, 2004), las cuales se centran en técnicas como adobe, bloques de tierra comprimida y tapial con enfoques en la guía constructiva de sistemas con tierra en el caso de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y reglamentos de construcción que plantea el New Mexico Administrative Code (NMAC), estos documentos también indican la metodología para la selección de los suelos, tipos de ensayos y prácticas constructivas.

2.6. Vulnerabilidad Estructural

La comunidad científica tiene un rol importante en la conservación de edificaciones de adobe que son denominadas patrimoniales y de las cuales depende gran parte de la economía de muchas ciudades. Por lo tanto, se deben brindar las mejores herramientas para prevenir el colapso de las estructuras que sean más vulnerables. Según la NEC 2015a, la ciudad de Cuenca tiene una aceleración sísmica de 0.25 g. esto indica que es una zona de alta aceleración sísmica. Pero, según (Cárdenas et. al, 2021) existe una clara tendencia de reducción de vulnerabilidad cuando esta aceleración decrece.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura depende de lo susceptible que esta sea frente a daños por diferentes factores, ya que existe gran variedad de formas de evaluar la vulnerabilidad estructural esto gracias al avance en investigaciones. Estos métodos de evaluación se basan en características estructurales, tipos de materiales, tipo de geometría, ubicación geográfica, etc., es decir, dependerá de quien realice esta actividad considerar los datos que sean convenientes según la edificación adoptada.

En el centro histórico de Cuenca alrededor del 50% de las edificaciones están en regulares o malas condiciones con claros signos de deterioro en elementos estructurales. Además, considerando que estas se encuentran localizadas en zonas de alta aceleración sísmica y están constituidas principalmente de mampostería de adobe por lo tanto presentan un bajo desempeño estructural con respecto a otro tipo de edificaciones, esto según un estudio en donde se evaluaron 45 muestras (Cárdenas et. al, 2021).

2.7. Conclusiones

Se puede afirmar que las construcciones de adobe son bastante acogedoras gracias a su baja conductividad térmica, propiedad que es directamente mejorada por el espesor de los muros los cuales aíslan de buena manera este tipo de edificaciones. Además, la materia prima esta siempre al alcance, obteniendo un ahorro considerable en el transporte, ventaja apreciable dado al alto volumen de material necesario para su construcción.

Para proteger las construcciones de adobe se puede mejorar la estructura usando tratamientos para resistir a la intemperie, como la adición de paja o hierba que son precisamente para mejorar sus cualidades ya que tienden a absorber la humedad atmosférica cuando el aire está saturado de manera que pierde su resistencia a los esfuerzos también se aplica estas técnicas para aumentar su resistencia y facilitar el manejo de los adobes. Además, los diseños de las viviendas se deben realizar con amplios aleros o con corredores exteriores, que sirven para proteger las paredes. Por último, para impedir que suba por capilaridad la humedad del suelo se realizan fundiciones de piedra, por estas razones es necesario potenciar las técnicas de construcción para obtener edificaciones seguras y confortables, para esto se debe trabajar en la creación de normas referidas a la tierra y adobe, aptas y aplicables para nuestro país, de esta manera se incentiva el uso de la tierra como material de construcción.

La norma que se adaptará para esta investigación es la E.080 redactada en el Perú dado su amplio estudio enfocado en las construcciones con tierra, esta norma indica el proceso de ensayos de laboratorio para determinar propiedades de materiales específicamente del adobe, además se toman en cuenta las normas ecuatorianas INEN y las internacionales ASTM que completarán algunos ensayos de caracterización.

Capítulo 3: Caracterización Física y Mecánica del Adobe

3.1. Introducción

Todo proyecto de ingeniería que involucre el manejo y uso de suelos requiere de un correcto estudio de caracterización para definir sus propiedades físicas y mecánicas, estas son necesarias para establecer los parámetros de un proyecto y que este cumpla en la práctica con las condiciones establecidas teóricamente. Para establecer las características de los suelos existen diferentes ensayos tanto en laboratorio como in situ, estos se rigen a normas establecidas mundialmente de las cuales se encarga la American Society for Testing and Materials (ASTM), esta es una organización internacional que desarrolla y publica normas de ensayos que se aplican en materiales en su mayoría. En el Ecuador la organización que rige para estas prácticas es el Servicio Ecuatoriano de Normalización, que a pesar de tener sus propias publicaciones estas están respaldadas y basadas en normativas internacionales como la ASTM.

En las regiones del Ecuador se han realizado estudios de suelos, pero de manera puntual, por lo que hace falta documentos e información acerca de los datos de los principales suelos existentes, ya que estos servirían como base para los profesionales que se desenvuelven en esta área (García y Schlatter, 2012)

3.2. Preparación de Muestras

Para determinar el comportamiento físico y mecánico de los adobes, es necesario recolectar muestras de suelo suelto para llevarlo a laboratorio, además de fabricar varias muestras de adobe, el lugar de extracción y elaboración de muestras se encuentra ubicado en el Cantón Sígsig, Azuay (Figura 8). Los bloques de adobe se fabrican en este caso únicamente con tierra, es decir, no se usan fibras de paja ni otros elementos que se suelen usar para la elaboración artesanal. Además, se toman en cuenta las composiciones descritas en la sección 2.3.1. Estos adobes son de dimensiones 40 cm x 20 cm x 18 cm.



Figura 8. Adobera Sígsig

Otro de los elementos a preparar para los ensayos es el mortero que se usa para unir los bloques de adobe en la elaboración de muretes, este se prepara con la misma tierra que se elaboran los bloques, pero cuidando las proporciones de agua, ya que de este depende la calidad de unión entre elementos.

3.3. Normativas

Luego de preparar los elementos que se van a usar en el trabajo estos se van a someter a diferentes ensayos basados en normativas para que sus resultados tengan confiabilidad. En primera instancia se realizan ensayos de caracterización del material, es decir porcentaje de humedad, granulometría y límites de Atterberg (líquido y plástico), posteriormente se realizan ensayos de compresión y flexión para cada bloque de forma individual para finalmente realizar ensayos de tracción directa y murete a compresión. Los ensayos se basan en normas que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas utilizadas para los ensayos

ENSAYO	NORMA	DESCRIPCIÓN
Humedad	NTE INEN 690	Determinación del Contenido De Agua, Método Del Secado Al Horno
Granulometría	NTE INEN 696:2011	Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso
Límites de Atterberg	NTE INEN 691:2011	Determinación del Límite Líquido, Método de Casa Grande
	NTE INEN 692:2011	Determinación del Límite Plástico
Resistencia a la compresión de bloques de adobe	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada	Artículo 8.1. Resistencia del Material Tierra a La Compresión
Resistencia a la flexión de bloques de adobe	ASTM C67	Testing of Brick and Structural Clay Tile
Esfuerzos de rotura mínimos	Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada	Artículo 8.4. Ensayo de Compresión Muretes de Adobe
		Artículo 8.5. Ensayo de Compresión Diagonal o Tracción Directa

3.4. Caracterización Física del Adobe

Inicialmente se realizan ensayos de campo que sirven para identificar el tipo de suelo con el que se va a trabajar de una manera cualitativa, según (Minke, 2005) los siguientes ensayos no son exactos, pero pueden realizarse en el sitio, en corto tiempo y se puede tener una idea de la composición de la tierra y determinar si la mezcla es aceptable.

- **Ensayo del olor:** El barro puro es inoloro, pero tiene olor a moho si contiene humus o materia orgánica en descomposición.
- **Ensayo de lavado:** Una muestra de tierra húmeda se frota entre las manos. Si las partículas se sienten claramente, esto indica que el barro es arenoso o gravoso, mientras que si la muestra es pegajosa pero las manos pueden limpiarse al frotarlas cuando se secan, esto es indicativo de un barro limoso. Si la muestra es pegajosa, haciendo necesario el uso de agua para lavarlas esto indica que el barro es arcilloso.
- **Ensayo de corte:** Una muestra húmeda de barro se moldea en forma de bola y se corta con un cuchillo. Si la superficie cortada es brillante significa que la mezcla tiene un alto contenido de arcilla, si la superficie es opaca indica un alto contenido de limo.
- **Ensayo de sedimentación:** Se agita una muestra de barro con agua en un frasco. Las partículas mayores se sientan primero en el fondo y las más finas arriba. A partir de esta estratificación se puede estimar la proporción de los componentes.
- **Ensayo de caída de la bola:** la mezcla a ensayar debe estar suficientemente húmeda como para formar una bola de 4 cm de diámetro. Cuando se deja caer desde una altura de 1.5 metros sobre una superficie plana pueden ocurrir diferentes resultados. Si se observa que no tiene daños quiere decir que tiene una alta capacidad aglutinante, que proviene de un alto contenido de arcilla. Si al chocar con el suelo se separan las partículas y quedan dispersas es probable que la tierra tenga muy bajo contenido de arcilla, su capacidad aglutinante es por lo general insuficiente y no puede ser utilizada como material de construcción.
- **Ensayo de consistencia:** Se forma con tierra húmeda una bola de 2 a 3 cm de diámetro. Con esta bola se forma un rollo de 3 mm de diámetro. Si el rollo se parte o desarrolla grandes fisuras antes de alcanzar los 3 mm de diámetro la mezcla deberá ser humedecida gradualmente hasta que el rollo se parta solamente cuando haya alcanzado el diámetro de 3 mm. Con esta mezcla se forma una bola nuevamente, si no es posible formarla entonces el contenido de arena es muy alto y el de arcilla muy bajo. Si la bola se puede deshacer entre los dedos pulgar e índice con mucha fuerza, el contenido de arcilla es alto. Si la bola se deshace fácilmente entonces el barro contiene poca arcilla.

Luego, para caracterizar el material se realizan ensayos de humedad, límites de Atterberg y Granulometría, estos siguiendo los procedimientos descritos en las normas para obtener resultados válidos.

Como se indica en la sección 3.2 para este tipo de ensayos es necesario trabajar con suelo suelto ya que este debe ser trasladado a laboratorio tratando de conservar sus condiciones de humedad.

En la sección de Anexos se detallan los resultados de cada uno de los ensayos que se usaron para determinar las características físicas. Estas propiedades son necesarias para empezar a definir ciertos parámetros que posteriormente se utilizan en la simulación numérica.

3.4.1. Humedad Natural

La muestra de suelo recolectada tiene que ser representativa del lugar, tomando en cuenta que mientras más seco es el suelo la cantidad tomada para el ensayo debe ser mayor. (INEN 690, 1982).

Proceso:

1. Se miden y se registran los valores de masas de los recipientes que muestra la balanza, a estos se los conoce como taras (m_1).
2. En cada recipiente se toma una pequeña muestra de suelo, posteriormente se colocan sobre la balanza y se registran los valores de la masa (m_2).
3. Luego de pesar las muestras en estado húmedo se ingresan al horno manteniendo una temperatura de 105 ± 5 °C hasta obtener una masa constante.
4. Inmediatamente luego de sacar las muestras del horno se pesan y se registran sus valores de masa (m_3).

Cálculo:

$$w(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

En el ensayo de humedad natural se obtiene el siguiente resultado, esto luego de promediar varias muestras para tener seguridad en el ensayo, ver Anexo A.

$$w = 17.07 \%$$

Este dato es determinante para caracterizar el material debido a que con este resultado se hacen correcciones de humedad en ensayos de granulometría y permite tener un punto de referencia para los ensayos de límites de Atterberg.

3.4.2. Límites de Atterberg

Los límites son de gran importancia para determinar los rangos en los cuales el suelo mantiene su estado de plasticidad. Inicialmente el ensayo se trabaja con fracción de suelo que pasa el tamiz 40 (INEN 691, 2011).

- Límite Líquido

Proceso:

1. Elegir una fracción de suelo aproximadamente 250 g, que haya pasado el tamiz 40. Se recolecta este material en un recipiente de goma.
2. Se añade agua destilada y se mezcla completamente hasta obtener una pasta homogénea densa tal que se pueda moldear fácilmente con los dedos sin que estos se adhieran.
3. Colocar una porción de pasta sobre la copa de la cuchara de Casagrande y extender rápidamente con una espátula hasta obtener una superficie lisa con profundidad de 10 mm.
4. Usando el ranurador se realiza un canal en el centro de la superficie colocada en la cuchara.
5. El dispositivo suele tener una palanca lateral que realiza los golpes verticales de la cuchara, esta puede ser manual o automática, pero se debe procurar que este gire a 2 revoluciones por segundo. Se mantiene el golpeo hasta que las dos mitades de la muestra se pongan en contacto en una distancia continua de 10 mm aproximadamente.
6. Si el número de golpes está entre 35 y 45 se toma el dato y una muestra en una tara para medir su porcentaje de humedad. Se continua con el ensayo para el siguiente dato, para conseguirlo se va agregando agua a medida que la muestra se vuelva más líquida y los golpes necesarios para la unión de las mitades disminuya hasta conseguir datos menores a los 25 golpes.
7. Una vez tomadas aproximadamente cinco muestras se proceden a medir su masa. Luego se realiza el proceso de Humedad Natural (Sección 3.4.1) para cada muestra.

Cálculos:

1. Los datos obtenidos se registran y grafican representados en el eje de las abscisas los valores de porcentaje de humedad y en el eje de las ordenadas los valores del número de golpes correspondiente a cada uno.
2. Se traza una curva que se acerque a todos los puntos y se determina cual es la humedad a los 25 golpes como se observa en el Anexo B.

- Límite Plástico

Proceso:

1. Cuando se realiza el ensayo de Límite Líquido al inicio se toma una muestra de aproximadamente 30 g, tal que esta se forme con facilidad una bola que no se adhiera a los dedos, esta muestra se la coloca sobre una placa de vidrio.
2. Tomar una tercera parte de la muestra inicial y moldear entre los dedos y luego amasar y rodar la bola entre las palmas de las manos hasta lograr que presente pequeñas fisuras.
3. Formar cilindros hasta aproximar a los 3 mm de diámetro rodando sobre la superficie de vidrio. Cuando estos presenten fisuras longitudinales y transversales se toma la muestra y se procede a determinar la humedad de cada una.

Cálculo:

Para determinar el contenido de agua en cada muestra se utiliza el mismo proceso realizado en la sección 3.4.1. Humedad Natural y detallado en el Anexo B.

Finalmente se calcula el índice de plasticidad (IP), este dato es de gran importancia en el momento de clasificar los suelos, por esta razón se utiliza la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

En donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = % Límite Líquido

LP = % Límite Plástico

Los resultados de los ensayos de esta sección se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de límites e índices de plasticidad

Límite Líquido (LL)	33.9 %
Límite Plástico (LP)	25.3 %
Índice de Plasticidad (IP)	8.6 %

3.4.3. Granulometría

Este ensayo se realiza para determinar la distribución granulométrica de los suelos, estos servirán para caracterizar el tipo de suelo con el que se trabaja.

Proceso:

1. Se toma una muestra de suelo tomando en cuenta que si se trabaja con suelos finos la masa debe ser mayor a los 300 g (INEN 696, 2011).
2. Se mide la humedad inicial del suelo para correcciones posteriores.
3. La muestra inicial se lava sobre el tamiz #200 esto se realiza para evitar que partículas se peguen sobre los demás tamices quedando como residuo la parte gruesa que se podrá medir en la balanza con facilidad.
4. El residuo se seca en el horno a una temperatura de 105 ± 5 °C, hasta obtener una masa constante, se retira y se distribuye en los tamices que se han elegido según disponibilidad y lo que dicta la norma (Tabla 3).

Tabla 3. Números de tamices utilizados en el ensayo

TAMIZ
4
8
16
30
50
100
200

5. Se mide la masa de cada uno de los tamices y se registra junto con el correspondiente número de tamiz.

Cálculos:

1. Se debe corregir por humedad, además de determinar las masas antes y después de haber lavado sobre el tamiz #200.
2. Se calcula el peso retenido, luego el peso retenido acumulado, posterior el porcentaje retenido y finalmente el porcentaje retenido acumulado. Este proceso se puede observar a detalle en el Anexo C.

El porcentaje que pasa el tamiz N°200, es del 95.08%. Esto indica que el suelo puede ser una arcilla o un limo. Para determinar la clasificación correcta se utiliza el sistema SUCS, que determina lo siguiente:

Clasificación de muestra de suelo, Sígsig, Azuay, Ecuador		
SUCS	OL	Suelo que contiene arcillas y limos con gran cantidad de materia orgánica y de baja compresibilidad.

3.5. Propiedades mecánicas del adobe

3.5.1. Preparación de Muestras

Es importante determinar las propiedades mecánicas del adobe ya que estas definen la capacidad del material para soportar cargas o fenómenos exteriores. Para lograr esto se definieron diferentes ensayos entre los cuales están compresión, flexión para cada unidad de adobe, adicionalmente compresión vertical y compresión diagonal de muretes, recolectando datos de cargas y deformación que arrojan los equipos con los cuales se trabajaron los ensayos.

Los ensayos que se realizaron se basaron en la Norma Peruana E.080, pero es importante acotar que dadas las condiciones presentadas en el adobe con el cual se trabajan estos ensayos, la mayoría se tuvieron que hacer ciertas modificaciones y adecuaciones, pero siempre manteniendo parámetros tal que las condiciones no sean tan distantes de lo que indica la norma.

Para el ensayo de Resistencia a la compresión y Resistencia a la flexión, la norma sugiere que se trabajen con seis muestras de las cuales se elijan los mejores cuatro valores mayores a las resistencias indicadas que son 1.0 MPa para compresión y 0.08 MPa para la resistencia de la tierra a la tracción, para mayor seguridad se han realizado 12 muestras ya que se trabaja con adobes realizados de forma artesanal por lo que podría haber mayor variación de resultados.

En el ensayo de compresión de murete la norma indica que se realicen seis muestras, pero dada la disponibilidad de espacios y tiempos en laboratorio se realizaron cuatro muestras de las cuales dos de ellas no arrojaron datos por un problema detectado en el equipo de medición ya que se encontraba sin calibración por lo que se perdieron sus resultados, dado esto se pudieron rescatar datos de dos muestras.

De igual forma el ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta requiere de seis muestras de las cuales se elaboraron cuatro por el mismo problema que el ensayo anterior. Debido al extremo cuidado y manejo que se debe dar a estos muretes se perdieron tres muestras al intentar movilizarlas hacia el equipo que realiza el ensayo por lo cual se obtuvo únicamente una muestra.

Los tipos de ensayos que se realizan además de la cantidad de muestras que se van a utilizar se encuentran detallados en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de ensayos y números de muestras correspondientes a cada uno

Ensayo	Muestras	Cantidad de Muestras	Norma
Resistencia a la compresión	Adobe 40 cm x 20 cm x 18 cm	12	E.080 - artículo 8.1. Resistencia del material tierra a la compresión
Resistencia a la compresión	Adobe 10 cm x 10 cm x 10 cm	12	E.080 - artículo 8.1. Resistencia del material tierra a la compresión
Resistencia a la flexión	Adobe 40 cm x 20 cm x 18 cm	12	ASTM C67
Compresión de Murete	Murete 40 cm x 20 cm x 56 cm	2	E.080 - artículo 8.4. Ensayo de compresión muretes de adobe
Compresión Diagonal de Murete	Murete 57 cm x 20 cm x 58 cm	1	E.080 - artículo 8.5. Ensayo de compresión diagonal o tracción directa

3.5.2. Equipos

Los equipos que se utilizaron se detallan en la Tabla 5, tomando en cuenta que tuvieron que ser adecuadas para cumplir con las necesidades de cada ensayo, es decir, se utilizaron placas de acero para distribuir cargas de manera uniforme sobre los elementos, además de soportes laterales de manera que estas retengan los desprendimientos de materiales en el momento de aplicar cargas.

Tabla 5. Equipos utilizados en los ensayos

ENSAYO	EQUIPO
Compresión Bloques 40 cm x 20 cm x 18 cm	Máquina de Compresión - ADR Touch SOLO 1500 Disponible en Laboratorio de Materiales, Facultad de Arquitectura, Universidad de Cuenca.

Compresión Bloques 10 cm x 10 cm x 10 cm	
Flexión Bloques 40 cm x 20 cm x 18 cm	Máquina SHIMADZU CONCRETO 2000X Disponible en Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca. 
Compresión de Murete	Máquina de Compresión Disponible en Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca
Compresión Diagonal de Murete	

3.5.3. Resistencia a la compresión

El ensayo a compresión de una unidad de adobe se realizó en doce muestras, esto se encuentra de manera detallada en el Anexo D, la velocidad de la carga se calibra a una velocidad de 1 mm/min. En la Figura 9. a). se muestra de manera esquemática la ejecución del ensayo, así como su realización en laboratorio como se indica en la Figura 9. b).

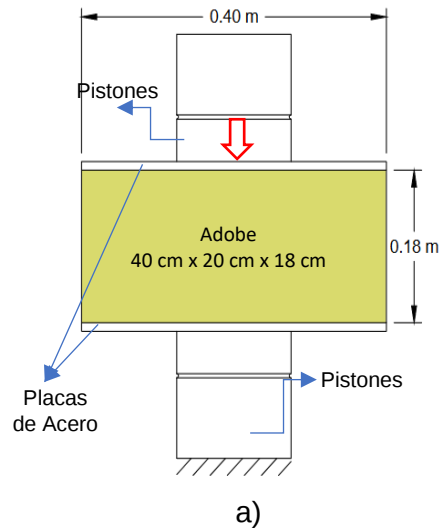


Figura 9. a). Esquema de ensayo a compresión; b). Ensayo a compresión, laboratorio

Se define como el máximo esfuerzo que resiste un material antes de que presente deformaciones excesivas. Los adobes que se sometieron a este ensayo presentan valores variables entre ellos, esto debido a que cada adobe tiene diferentes condiciones en su fabricación de manera artesanal. Las mayores deformaciones se encuentran en zonas como las esquinas esto se observa en la Figura 10. a), además de fisuras en los bordes inferiores y superiores, tales como los que se observan en la Figura 10. b), c), d).

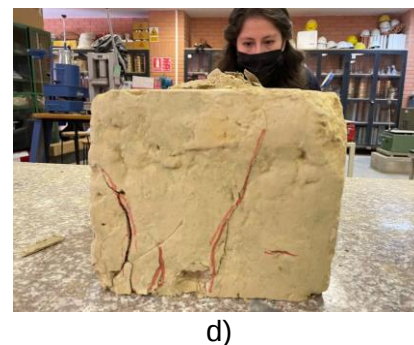
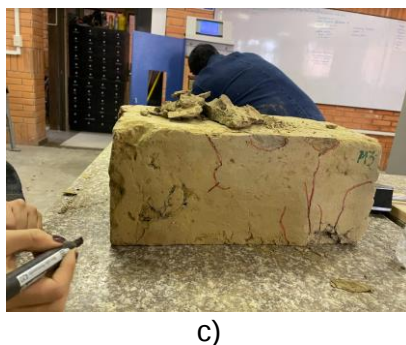
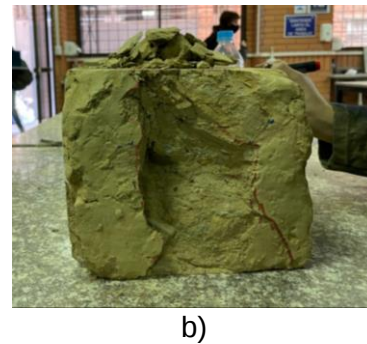
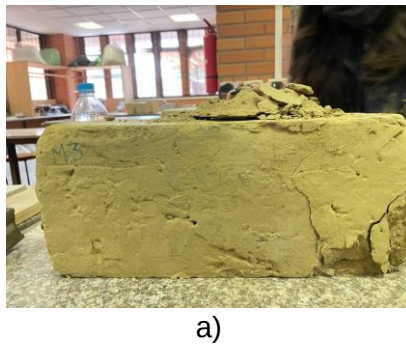


Figura 10. a). Fisuras en el canto derecho del adobe; b). Fisuras en la testa delantera del adobe; c). Fisuras en el canto izquierdo del adobe; d) Fisuras en la testa trasera del adobe

Obtenidos los datos de carga y deformación, estos se tabulan y se realizan los gráficos esfuerzo vs deformación, dividido en dos grupos de seis muestras cada uno para los bloques de adobe de 40 cm x 20 cm x 18 cm, las gráficas se muestran en la Figura 11 en donde se presentan resultados de las muestras 1 a la 6 y en la Figura 12 las muestras de la 7 a la 12.

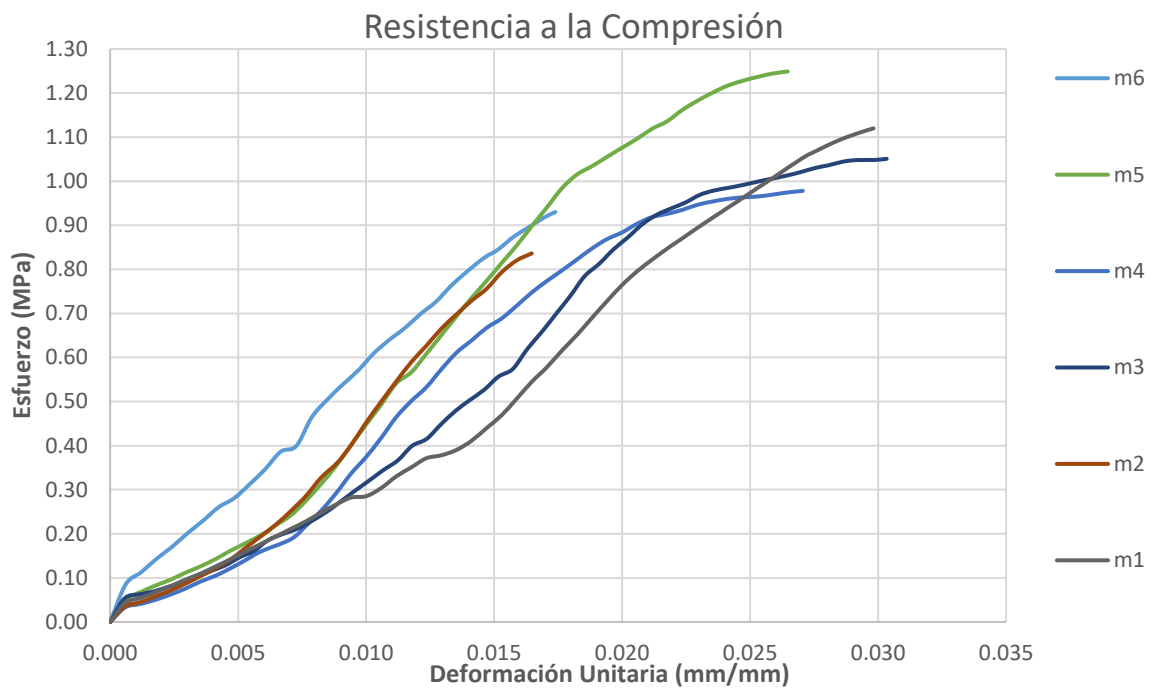


Figura 11. Resultados de ensayos a compresión de bloques de adobe m1 a m6

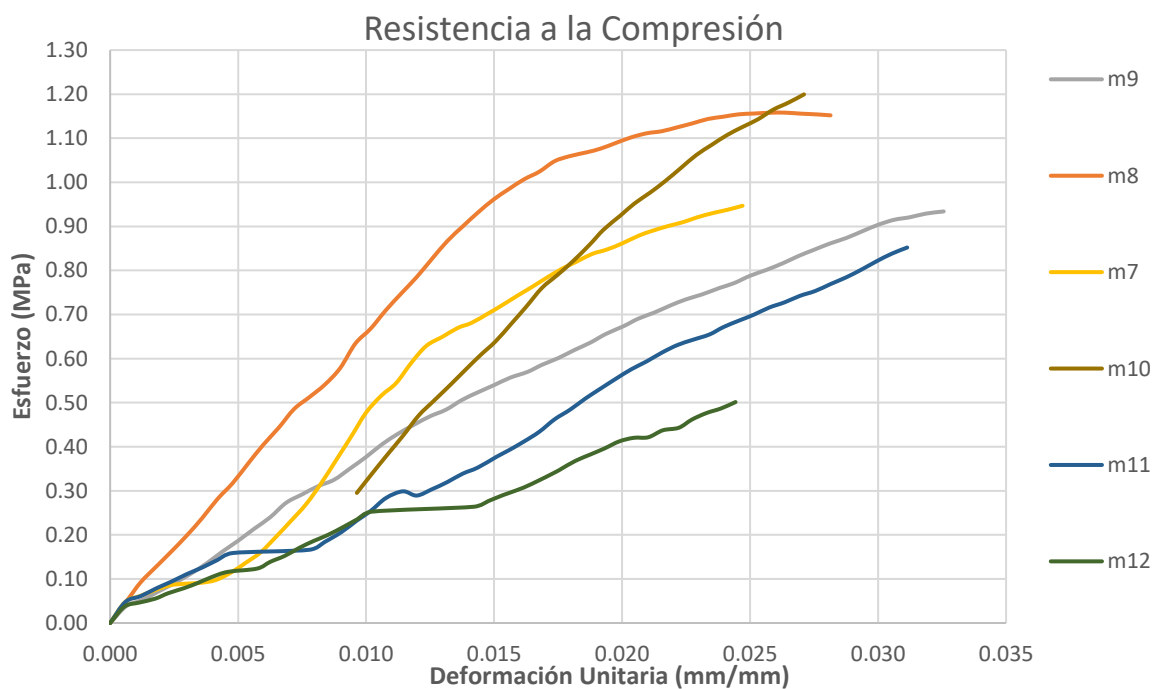


Figura 12. Resultados de ensayos a compresión de bloques de adobe m7 a m12

Se determinan los valores máximos de esfuerzo a compresión de cada una de las muestras ensayadas, de igual manera en dos grupos de seis muestras, obteniendo como resultados la Figura 13 en donde se indican las primeras seis muestras y en la Figura 14 donde se presentan las seis muestras siguientes.

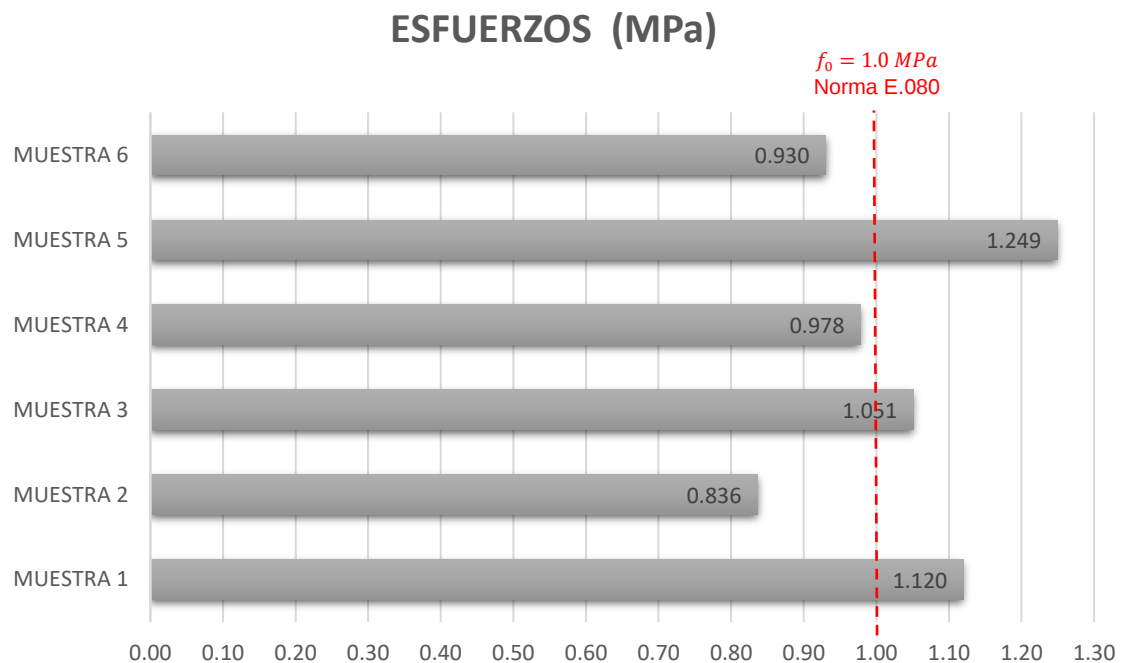


Figura 13. Esfuerzos máximos de compresión de adobes de la muestra 1 a la muestra 6

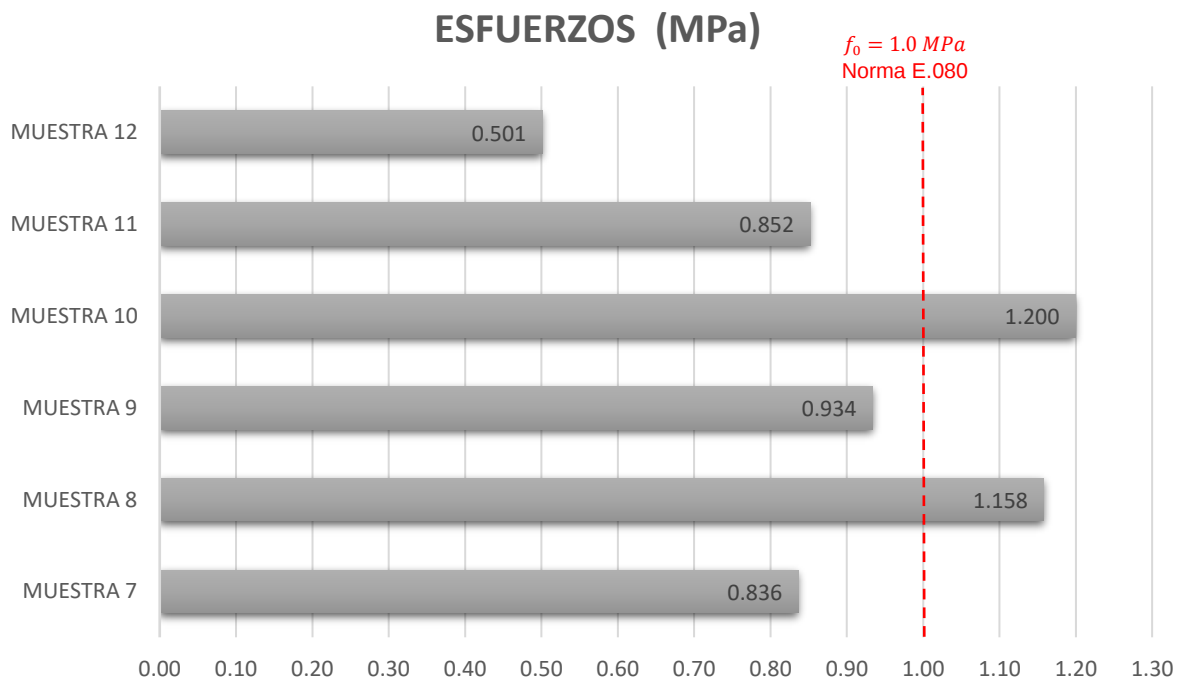


Figura 14. Esfuerzos máximos de compresión de adobes de la muestra 7 a la muestra 12

Como se observa en la Figura 13, tres muestras superan el mínimo requerido por la norma sin embargo esta recomienda que se descarten los dos valores más bajos siendo las muestras 2 y 6, de las restantes se calcula el promedio para determinar la resistencia a la compresión de los bloques de adobe obteniendo un valor de **1.10 MPa** para el primer grupo de muestras, luego evaluando el segundo grupo detallado en la Figura 14 y siguiendo el mismo criterio de selección de las muestras se obtiene una resistencia a la compresión de **1.04 MPa**. Cabe mencionar que el ensayo se modificó y adecuó a las muestras que se tienen en el presente trabajo por lo que el valor de resistencia a compresión se considera como referencia más no como un requerimiento.

A continuación, realizados los ensayos de compresión de los cubos de 0.10 m de arista y obtenidos los datos de carga y deformación, detallados en el Anexo F, estos se tabulan y se realizan los gráficos esfuerzo vs deformación, las gráficas se muestran en la Figura 15 del primer grupo de muestras y en la Figura 16 del segundo grupo.

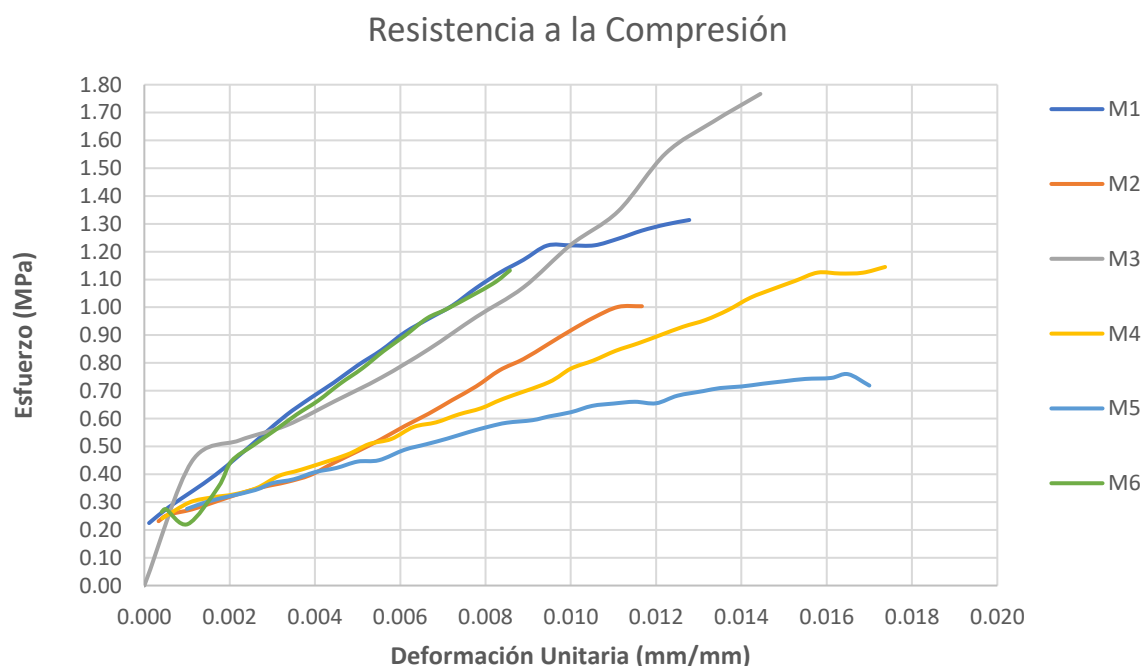


Figura 15. Resultados de ensayos a compresión de cubos de adobe de M1 a M6

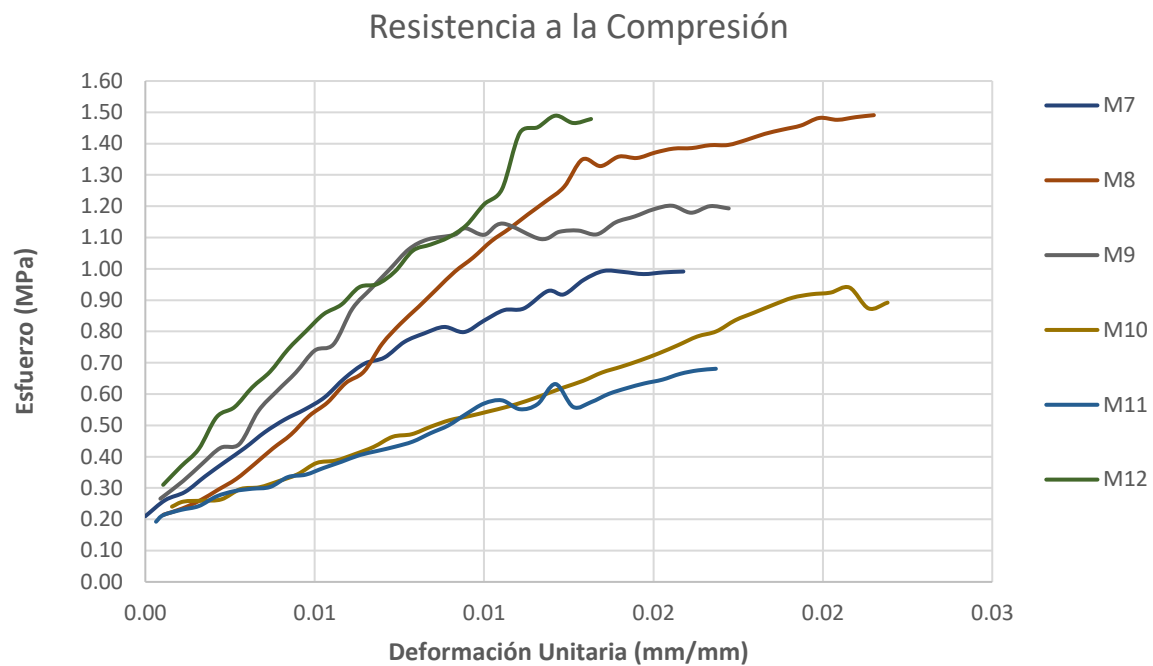


Figura 16. Resultados de ensayos a compresión de cubos de adobe de M7 a M12

Se determinan los valores máximos de esfuerzo a compresión de cada una de las muestras ensayadas, de la misma manera separando los dos lotes de seis muestras de cubos de arista de 0.10 m, obteniendo como resultados la Figura 17 en donde se encuentran cinco muestras ya que una de ellas muestra valores muy elevados que no siguen la tendencia del material y se ha descartado, también se obtienen los resultados del segundo lote de muestras indicados en la Figura 18.

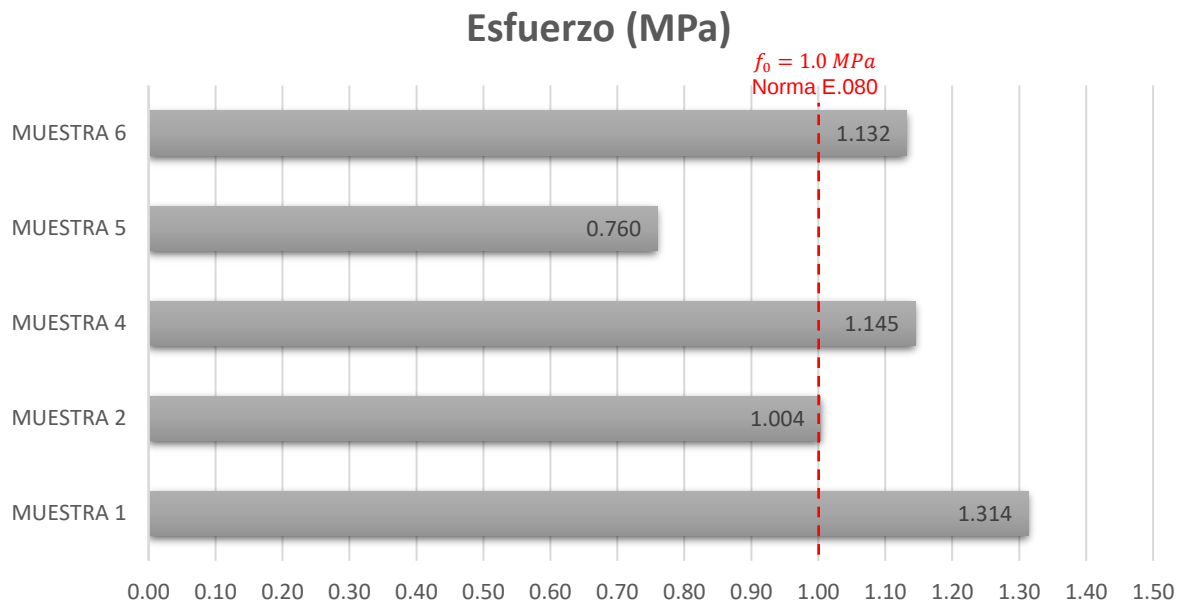


Figura 17. Esfuerzos máximos de compresión de cubos de adobe de la muestra 1 a la muestra 6

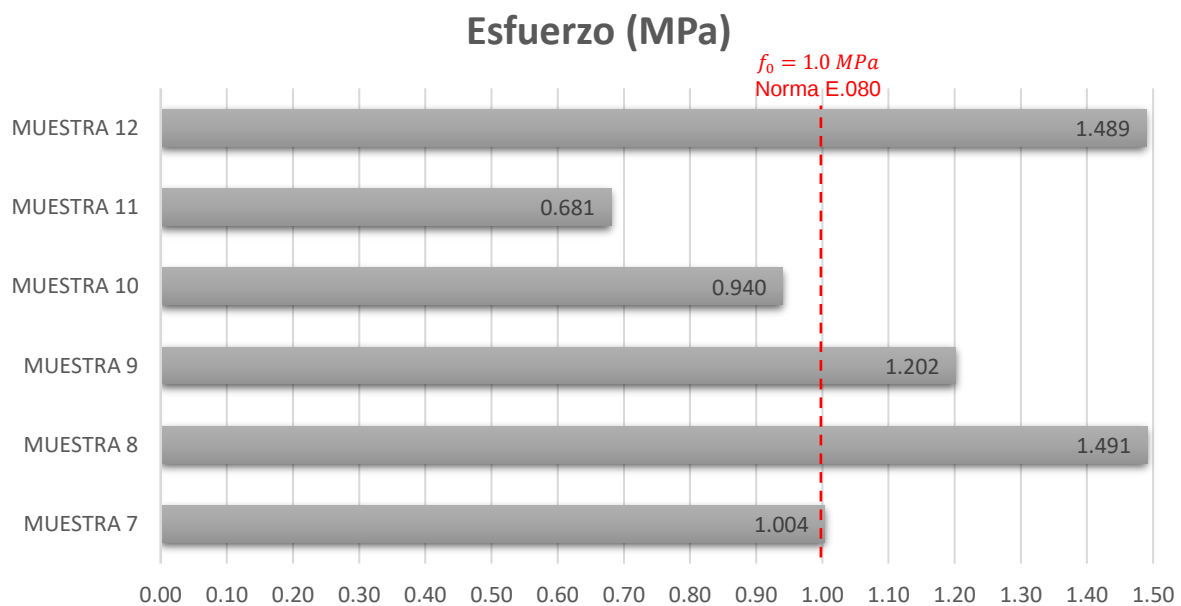


Figura 18. Esfuerzos máximos de compresión de cubos de adobe de la muestra 7 a la muestra 12

La Figura 17 y Figura 18 muestran los esfuerzos máximos en los cubos de adobe, se observa que en el primer lote cuatro muestras superan el valor establecido por la norma E.080, de estas se calcula el promedio para determinar su esfuerzo. Cabe recalcar que una de las muestras se desechó ya que se obtuvieron resultados con diferencias totalmente diferentes a las demás muestras esto pudo ser por fallas en la calibración del equipo. El valor de resistencia a la compresión es de **1.15 MPa**, en el segundo lote realizando el mismo

procedimiento descrito se toman en cuenta las cuatro mejores muestras dando un resultado de resistencia a la compresión de **1.30MPa**.

Los resultados resumidos tanto de los bloques de adobe como de sus cubos a compresión se encuentran en la Tabla 6 en donde se observa que todos los valores calculados sobrepasan el valor que plantea la norma E.080.

Tabla 6. Esfuerzos a compresión de cada lote de muestras

Muestras	Promedio cuatro mejores muestras
Lote 1: Adobes muestra 1 a 6	1.10 MPa
Lote 2: Adobes muestra 7 a 12	1.04 MPa
Lote 1: Cubos muestra 1 a 6	1.15 MPa
Lote 2: Cubos muestra 7 a 12	1.30 MPa

3.5.4. Módulo de elasticidad

Se define como el esfuerzo más allá del cual el material no vuelve a su estado natural cuando se retiran las cargas, es decir, mantiene una deformación permanente (Pytel y Singer, 1994). Este valor relaciona el esfuerzo y la deformación unitaria de un material y es importante cuando se habla de análisis estructural. Sin embargo, al trabajar con un material como el adobe que se considera no lineal ni isótropo ya que depende de otras características principalmente en la manipulación del adobe, dicho valor del módulo de elasticidad puede variar.

Para determinar el módulo de elasticidad del adobe se establece en primer lugar las gráficas de esfuerzo vs deformación, a partir de estas se calcula la pendiente de la sección más recta obteniendo como resultado el valor del módulo elástico, este se realiza en todas las muestras ensayadas, se observa la metodología del cálculo en una muestra al azar detallada en la Figura 19.

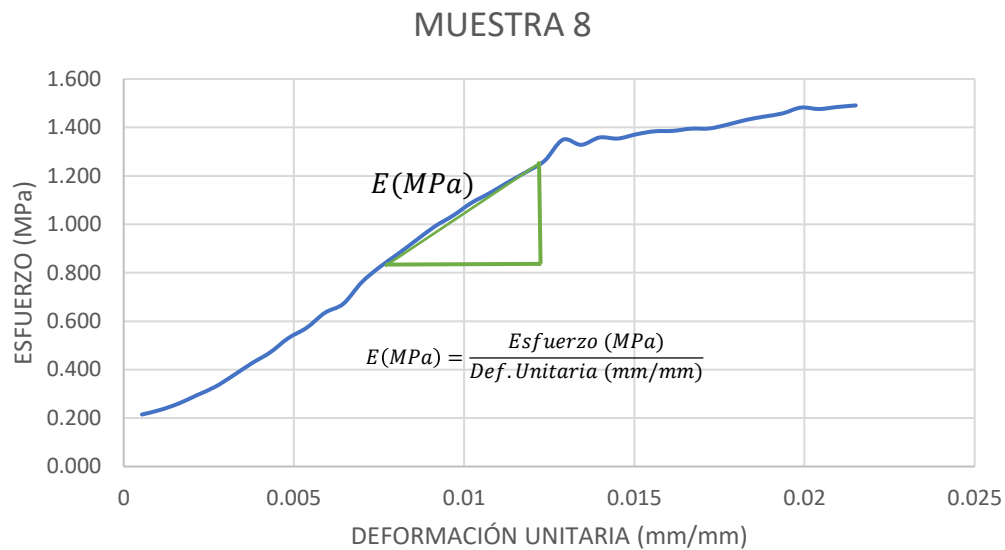


Figura 19. Método para calcular el módulo de elasticidad

Los resultados obtenidos de cada muestra se encuentran listados en la Tabla 7 en la cual siguiendo la misma metodología del ensayo a compresión se han separado cada ensayo en dos lotes de seis muestras cada uno, en donde se encuentran remarcados los valores del módulo de elasticidad de las muestras que fueron elegidas para el cálculo de la resistencia a la compresión, estos valores posteriormente se promedian para determinar el valor de cada lote.

Tabla 7. Resultados de los Módulos de Elasticidad

Muestra 10 cm x 10 cm x 10 cm			Muestra 40 cm x 20 cm x 18 cm		
	Número de Muestra	E (MPa)		Número de Muestra	E (MPa)
Lote 1	M1	107.67	Lote 1	m1	51.91
	M2	89.55		m2	65.97
	M3	225.42		m3	53.13
	M4	59.82		m4	65.29
	M5	40.77		m5	68.59
	M6	105.99		m6	54.04
Lote 2	M7	72.28	Lote 2	m7	70.14
	M8	98.63		m8	64.80
	M9	110.26		m9	37.29
	M10	40.12		m10	60.52
	M11	32.96		m11	34.82
	M12	32.96		m12	22.10

Para determinar los valores del módulo de elasticidad se toman en cuenta únicamente las muestras que se dieron como validas en la sección de la resistencia a la compresión, de estos se determina el promedio para establecer el valor final. Para las muestras de 10 cm x 10 cm se obtiene un $E = 90.76 \text{ MPa}$ para el Lote 1 y un $E = 80.32 \text{ MPa}$ para el Lote 2 y para las muestras de 40 cm x 20 cm x 18 cm se obtiene un $E = 59.65 \text{ MPa}$ para el Lote 1 y un $E = 58.18 \text{ MPa}$ para el Lote 2.

3.5.5. Resistencia a la flexión

De igual manera que el ensayo a compresión se utilizaron doce muestras como se presentan en el Anexo E. En la Figura 20 se muestra la ejecución del ensayo.

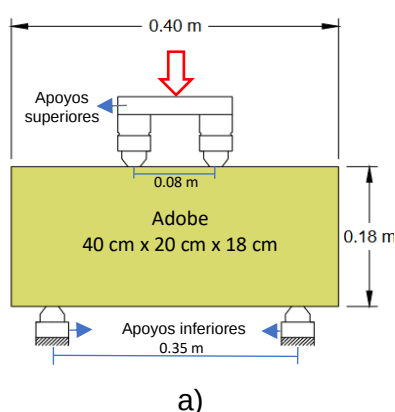


Figura 20. a). Esquema de ensayo a flexión; b). Ensayo a flexión, laboratorio

El ensayo de resistencia a la flexión se realiza con dos puntos de carga perpendicular sobre el bloque de adobe con una separación de 8 cm, además de dos apoyos inferiores separados a 35 cm esto se observa en la Figura 21. a). Para este ensayo se utilizan doce muestras intentado usar los adobes más regulares posibles en cuanto a forma, esto para evitar que haya resultados que difieran mucho de las demás muestras. La mayoría de muestras presentaron fallas en las líneas en donde se aplican las cargas formando líneas diagonales como se indica en la Figura 21. c). y d)., al revisar las muestras en los puntos de falla se puede observar la presencia de pequeñas piedras y cierta cantidad de materia orgánica que contiene el suelo, esto se puede ver en la Figura 21. b).

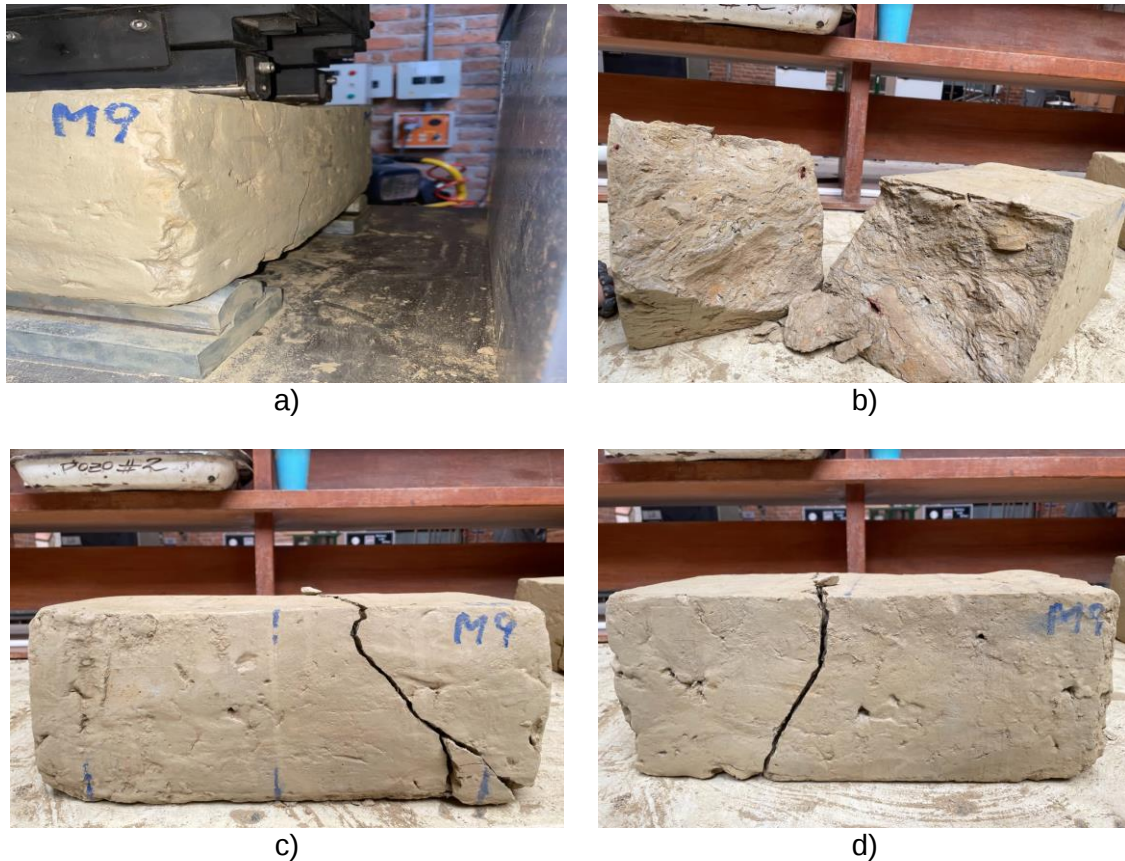


Figura 21. a). Ubicación del bloque de adobe en el equipo a flexión; b). Revisión de puntos de falla luego del ensayo a flexión; c). Fisura diagonal vista desde el canto derecho del adobe; d). Fisura diagonal vista desde el canto izquierdo del adobe

Lo que se busca es determinar el esfuerzo máximo a flexión, de igual manera que se hizo con el ensayo de resistencia a compresión se recolectan datos de fuerza y desplazamiento detallados en el Anexo E, la máquina en la que se realiza este ensayo es moderna por lo que arroja datos de forma digital los cuales se deben procesar. Finalmente se obtienen las gráficas de esfuerzo vs deformación para determinar el esfuerzo máximo a flexión. Los resultados de las muestras divididas en dos lotes se resumen en la Figura 22 en donde se encuentran desde la muestra 1 hasta la 6 y en la Figura 23 en donde se encuentran desde la muestra 7 hasta la 12.

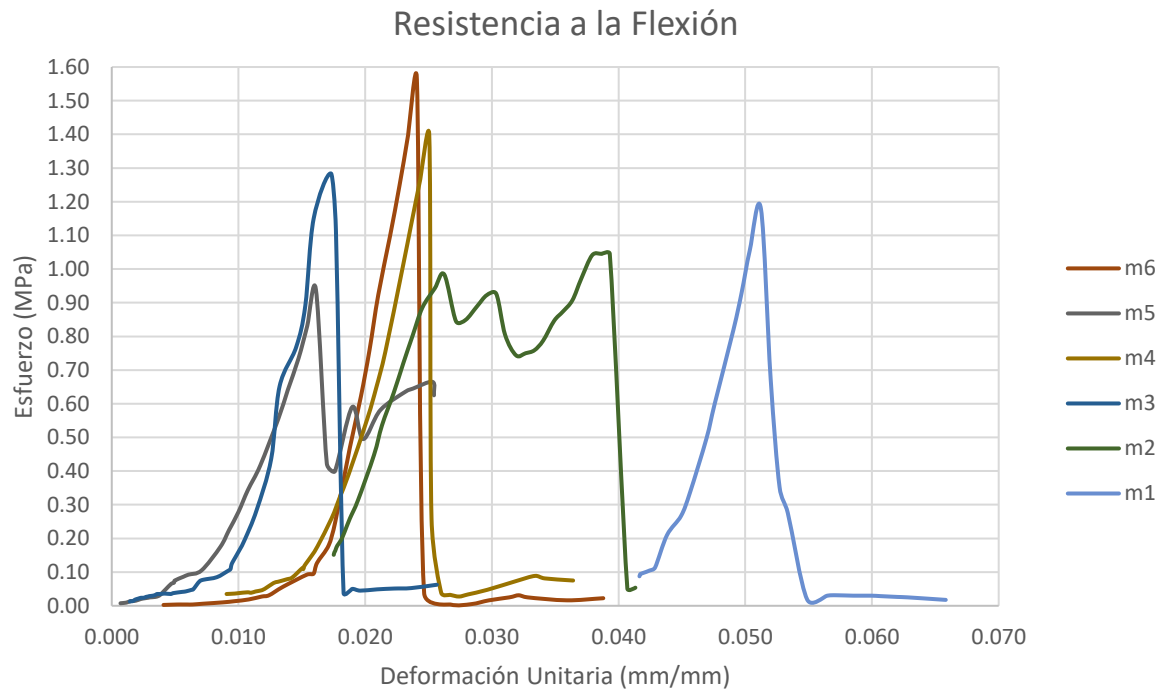


Figura 22. Resultados de ensayos a flexión de bloques de adobe de m1 a m6

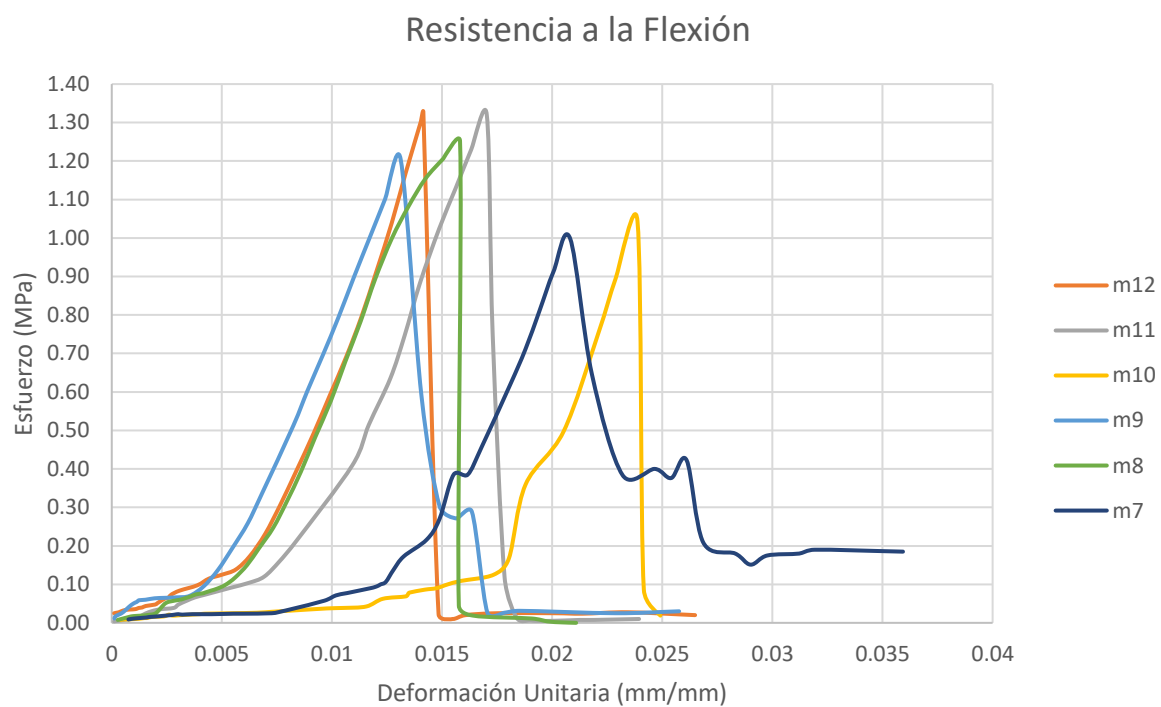


Figura 23. Resultados de ensayos a flexión de bloques de adobe de m7 a m12

Se determina la resistencia máxima a la flexión de cada lote de muestras, datos que se encuentran en la Figura 24 y Figura 25 para los dos diferentes lotes de muestras.

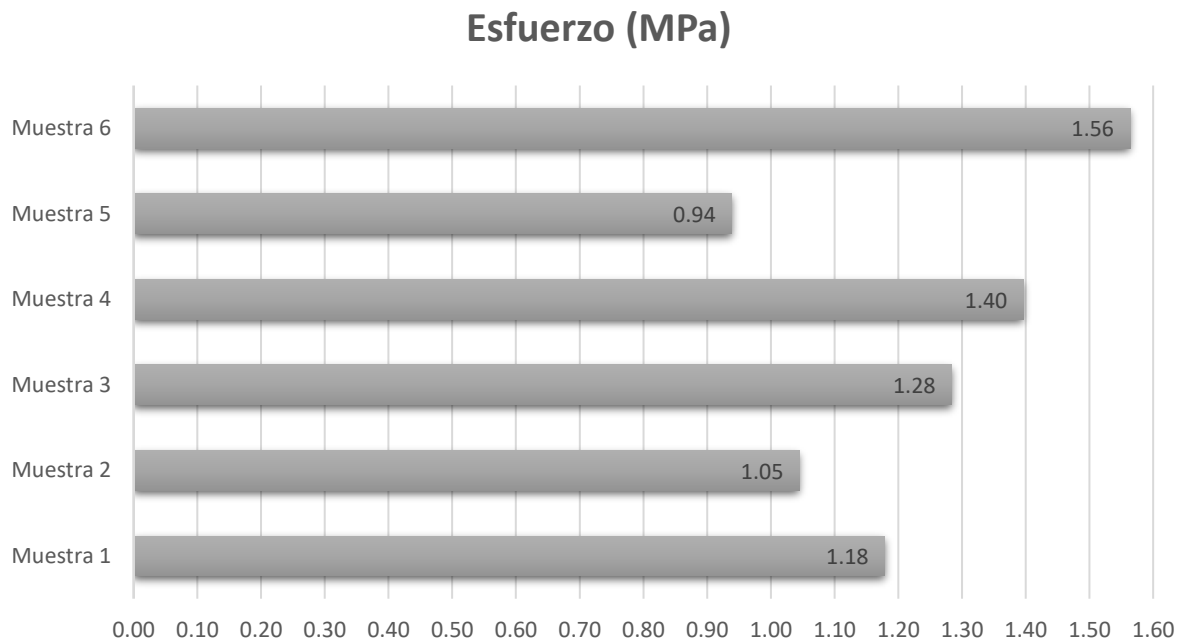


Figura 24. Esfuerzos máximos de flexión de adobes de la muestra 1 a la muestra 6

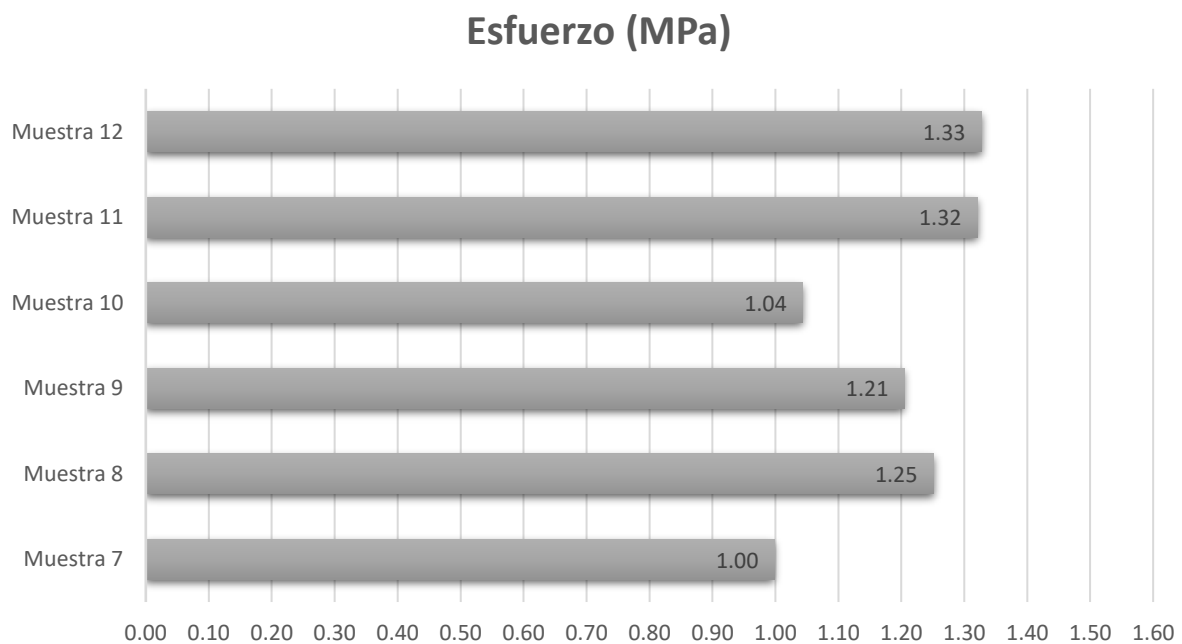


Figura 25. Esfuerzos máximos de flexión de adobes de la muestra 7 a la muestra 12

La norma indica que se tomen las mejores cuatro muestras por cada seis, por lo tanto, de estas se ha realizado un promedio para determinar la resistencia a la flexión de los bloques de adobe. El valor de resistencia a la flexión para el lote de muestras de la 1 a la 6 es de **1.32 MPa** y para el lote de muestras de la 7 a la 12 es de **1.21 MPa**.

3.5.6. Resistencia a la compresión de muretes

Las dimensiones del murete se definen en base a la norma E.080, pero también tomando en cuenta las limitaciones de las máquinas disponibles en laboratorio y los adobes con los que se trabajan se hacen modificaciones, procurando cumplir con las condiciones establecidas en la normativa, para el ensayo de resistencia a la compresión del murete las dimensiones se observan en la Figura 26.

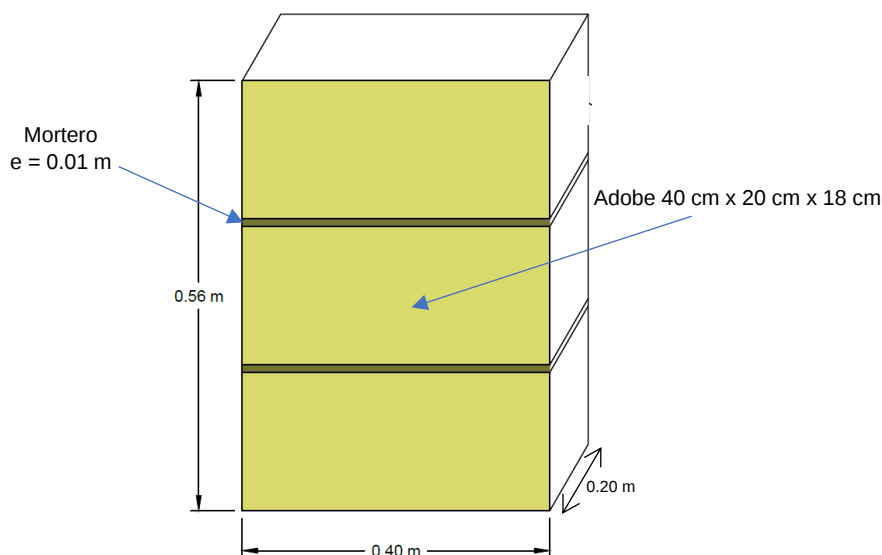


Figura 26. Dimensiones de muretes para ensayo a compresión

$$a = 0.20 \text{ m}; b = 0.40 \text{ m}; h = 0.56 \text{ m (ver Figura 26)}$$

La norma E.080 establece condiciones acerca de las dimensiones del murete antes de ser sometido a cargas, según el Artículo 8.4:

$$\frac{h}{a} \cong 3 \rightarrow \frac{0.56}{0.2} = 2.8 \therefore \text{Cumple}$$

$$a < b \rightarrow 0.20 \text{ m} < 0.40 \text{ m} \therefore \text{Cumple}$$

Luego de elaborar los muretes y según recomendaciones de la norma en la cual indica que para que el murete alcance una alta resistencia se debe hacer el ensayo a los 28 días de secado, asemejándose a los ensayos que se realizan en el hormigón. Para este ensayo es importante contar con suficientes personas que manipulen el murete sin que esta sufra deformaciones antes de ingresar a la máquina.

En el momento del ensayo el equipo arroja datos de forma digital siendo estos de esfuerzo y deformación por lo que no es necesario tomar datos manualmente, estos se encuentran en el Anexo G. A continuación, en la Figura 27. a). y b). se observa cómo se ejecuta este ensayo.

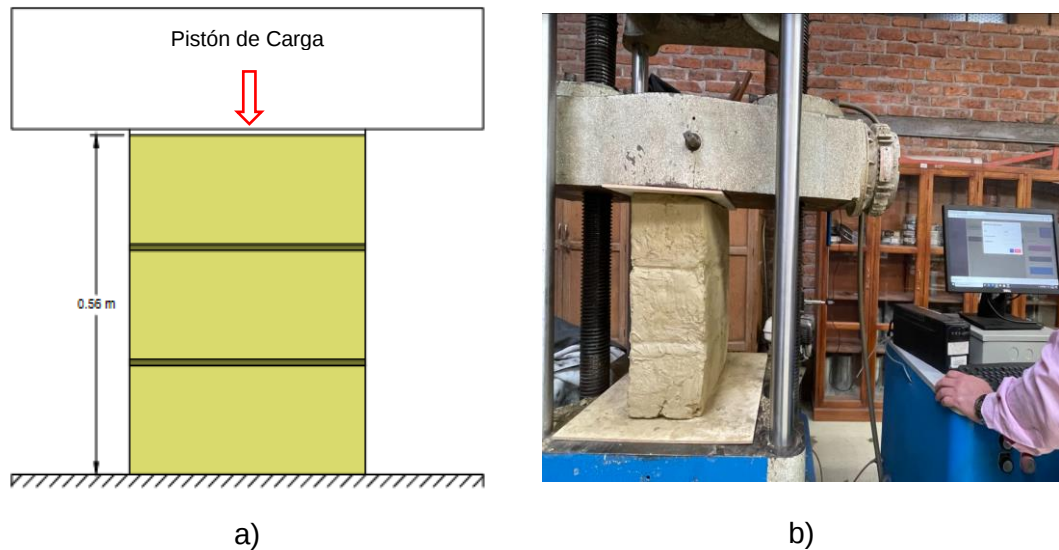


Figura 27. a). Esquema de ensayo de compresión de murete; b) Ensayo a la compresión de murete, laboratorio

Las muestras fueron cuidadosamente tratadas para evitar contacto directo con las condiciones del ambiente tales como humedad, golpes, etc. A pesar de esto las muestras presentaban fisuras propias del material las cuales fueron corregidas para que en el momento del ensayo no se confundan con fisuras provocadas por las cargas en laboratorio.

En el ensayo se puede observar fisuras verticales que conforme aumenta la carga aparecen en los bordes y en las zonas en contacto superior e inferior dirigiéndose hacia el centro del murete Figura 28. También existen desprendimientos de material en algunas caras. Esto ya indica el fracaso de las muestras por lo que se detiene el ensayo.



Figura 28. Ensayo a compresión de murete

Realizado el ensayo se recolectan los datos de la máquina a compresión que también contiene una computadora que arroja automáticamente los datos de carga y desplazamientos verticales, los cuales tienen que ser tratados posteriormente. De igual manera que los anteriores ensayos se obtienen las curvas de esfuerzo vs deformación. Para esto se ha realizado el ensayo de dos muestras representativas las cuales se encuentran de manera gráfica en la Figura 29.

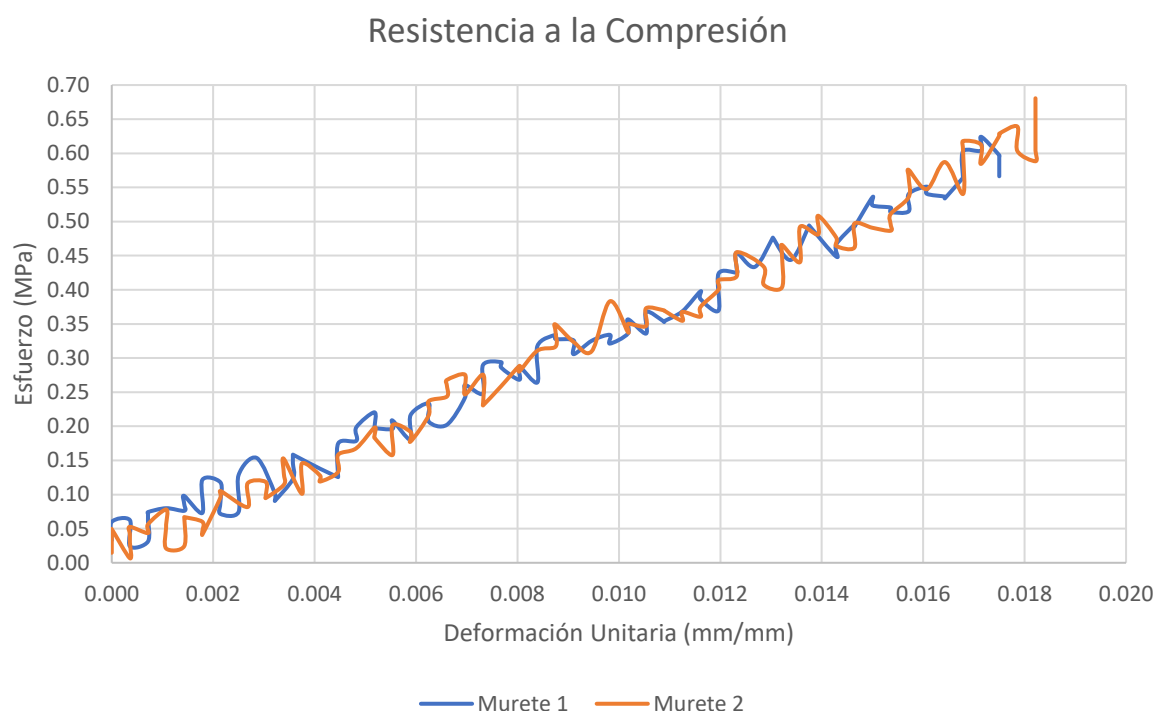


Figura 29. Resultados de ensayos a compresión de muretes de adobe.

Los resultados obtenidos que resumen la Figura 29 se presentan en la Tabla 8, los cuales posteriormente se compararán con valores que establece la norma para determinar si estas cumplen con los rangos recomendados.

Tabla 8. Valores máximos de ensayo a compresión de muretes de adobe

Muestra	Fuerza máx. (N)	E (MPa)	Esfuerzo (MPa)
Murete 1	41600	25.63	0.69
Murete 2	37800	24.37	0.63

3.5.7. Resistencia a la Compresión Diagonal

La norma E.080 recomienda magnitudes del murete de 0.65 m x 0.65 m x e_m , siendo e_m el espesor que no especifica, es decir, se puede usar dependiendo el material. Sin embargo, establece el largo y la altura del murete, pero el equipo de medición no admite estas

dimensiones ya que su diagonal supera los 80 cm que tiene como abertura máxima, por lo tanto, es necesario modificar dichas magnitudes obteniendo las que se muestran en la Figura 30.

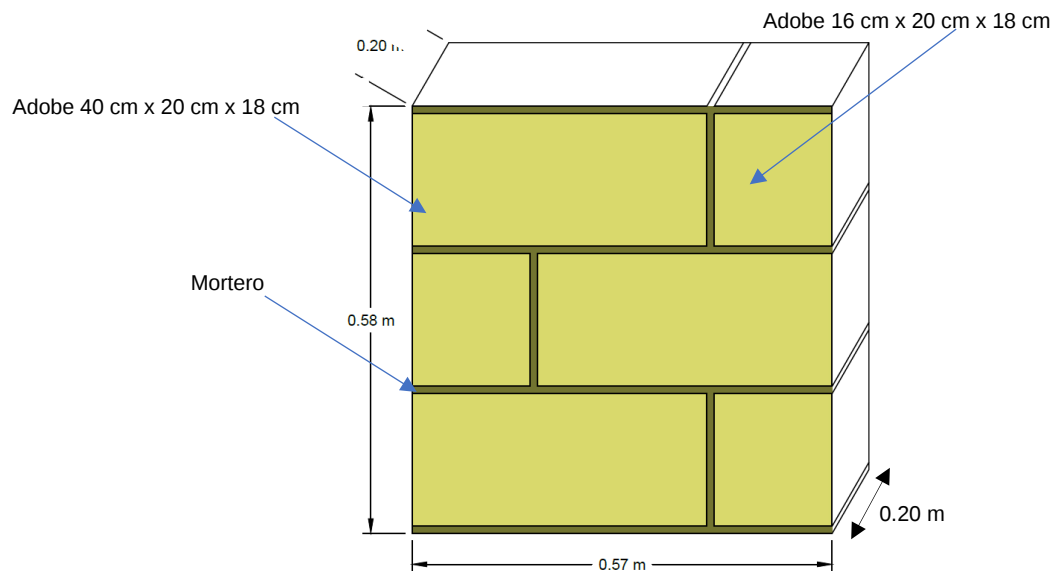


Figura 30. Dimensiones de muretes para ensayo de compresión diagonal

Este ensayo requiere de soportes adicionales que sujetarán el murete cuando ceda ante las cargas, dado que no se dispone de equipos que estén adecuados exactamente para este tipo de trabajos, el murete se gira 45° y se asienta sobre el soporte de madera el cual mantiene esta posición para que la carga actúe de manera vertical a lo largo de la diagonal del murete. Esto se observa a detalle en la Figura 31 a) y b).

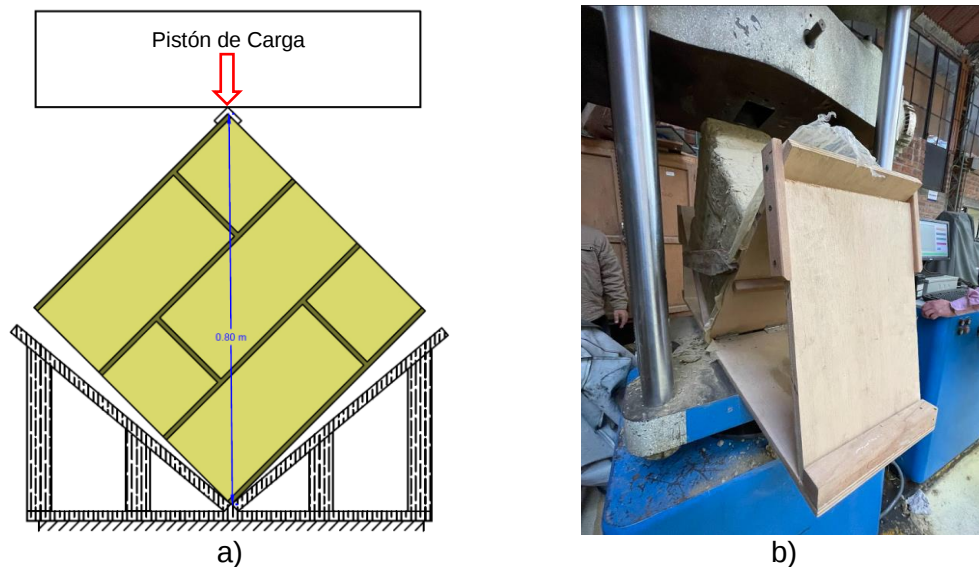


Figura 31. a). Esquema de ensayo de compresión diagonal de murete; b). Ensayo de compresión diagonal de murete, laboratorio

Para realizar este ensayo se usa la norma E.080, la cual da indicaciones sobre la metodología de la experimentación, esta consiste en la elaboración del murete, la manipulación y la aplicación de la carga sobre su diagonal, esto provoca esfuerzos cortantes que provocan su falla.

A pesar de que las indicaciones de la norma son claras, se debe tomar en cuenta el tipo de material que se está utilizando y características del adobe que obligan a hacer ciertas modificaciones tal que al elaborar el murete este quepa en la máquina de compresión, además se toma en cuenta la posición en la que esta va a recibir las cargas por lo que se debe elaborar adicionalmente moldes de madera que cumplan con la función de retener el desprendimiento brusco del material, este no debe tocar las caras de la muestra. Para colocar el murete en este molde se debe tener extremo cuidado con su manipulación para evitar fallas antes que este reciba cargas y así evitar resultados erróneos.

El murete debe tener un período de 28 días de secado para que alcance un adecuado curado, proceso similar al endurecimiento del hormigón, los resultados se observan detalladamente en el Anexo H.

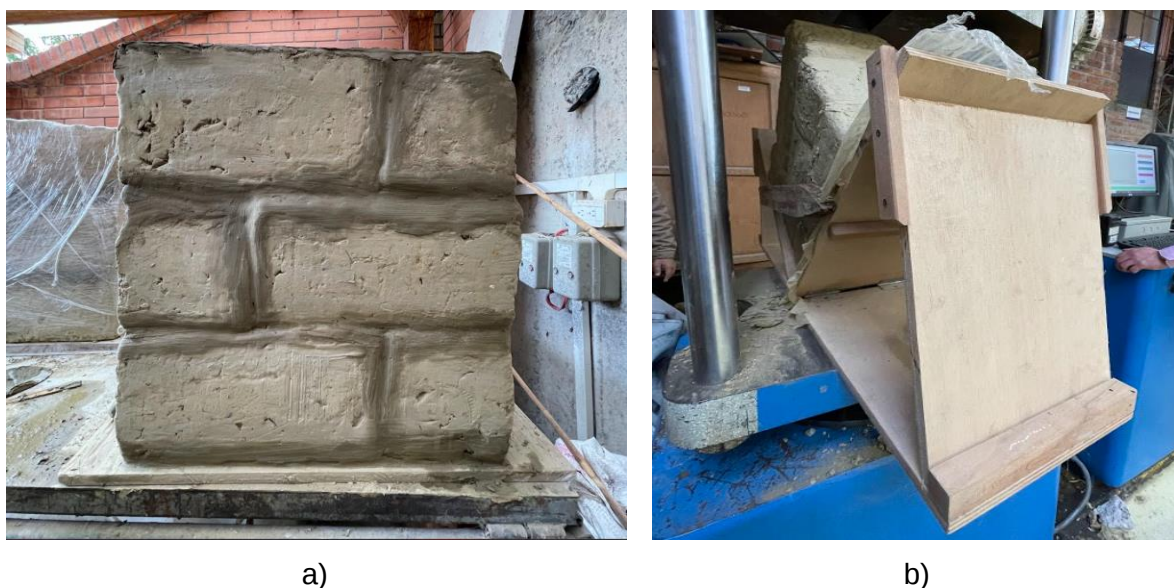


Figura 32. a). Murete recién elaborado; b). Murete sometido a cargas diagonales

Cuando el murete es colocado correctamente en la maquina y se empiezan a aplicar las cargas se empiezan a notar fisuras en las uniones (Figura 32 a). y b).), es decir, en las zonas donde cubre el mortero y conforme aumentan las cargas se empiezan a observar desprendimientos de los bloques de adobe provocada por una fisura continua a lo largo de todo el mortero. Los resultados del ensayo se encuentran en la Figura 33.

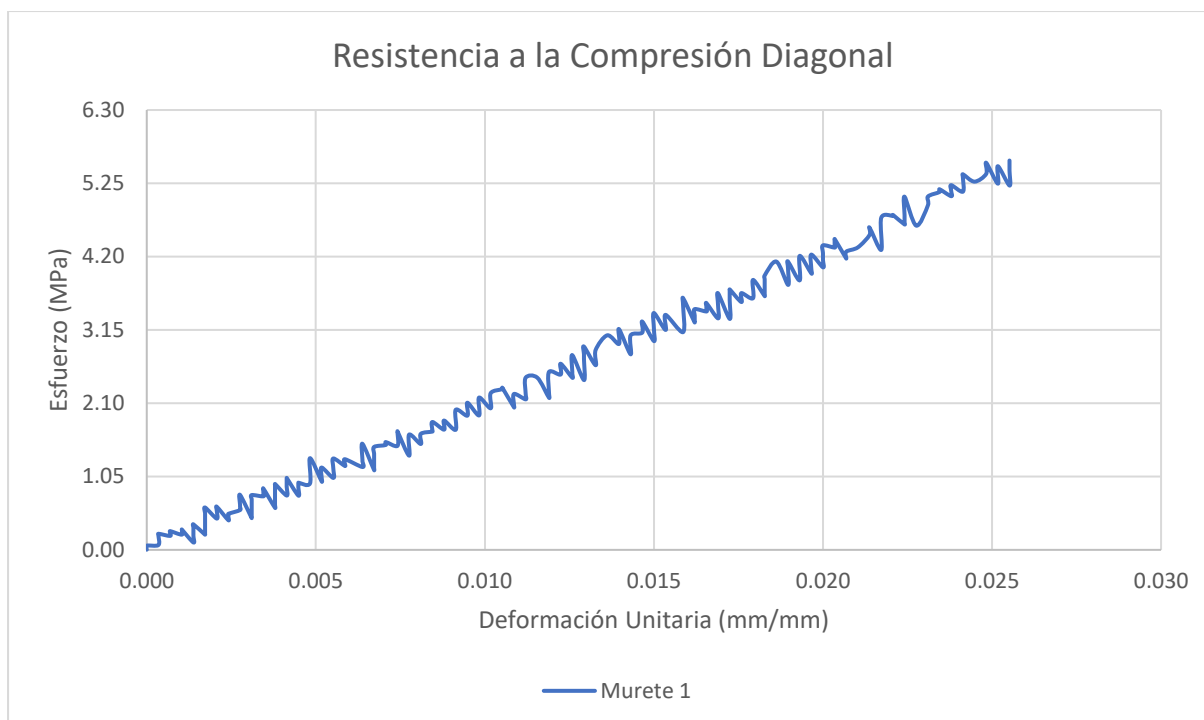


Figura 33. Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete de adobe.

En resumen, los datos importantes de este ensayo son de fuerzas máximas y esfuerzos máximos estos se observan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de Esfuerzo máximo en ensayos de compresión diagonal

Muestra	Fuerza máx. (N)	Esfuerzo (MPa)
Murete 1	66920	5.58

3.6. Comparación con Normativa

El estudio de las construcciones de adobe no ha tenido un amplio campo de estudio por lo que existen pocas normas con respecto a este tipo de material, se mencionaba la norma peruana y las que se encontraron redactadas en los Estados Unidos, a pesar de eso no todas recomiendan valores mínimos de ensayos de laboratorio por lo que la más cercana y que mejor se acomoda al estudio en este trabajo de investigación es la norma del Perú, E.080, la cual indica valores mínimos que estos ensayos deberían cumplir, cabe mencionar que los ensayos de laboratorio se realizaron en base a este documento por lo que se considera necesario realizar la comparación con los datos que recomienda. Junto con los datos procesados en laboratorio se hacen las respectivas comparaciones. Estas se muestran a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Comparación de resultados con Norma E.080

Norma	Resistencia a la compresión adobe 10x10x10 (MPa)	Resistencia a la flexión adobe (MPa)	Resistencia a la compresión murete (MPa)	Resistencia a compresión diagonal indirecta murete (MPa)
Norma E.080 (Perú)	1	No hay datos	0.6	0.03
Ensayos de Laboratorio	1.30	1.32	0.69	5.58
Observación	Cumple	No se puede comparar	Cumple	Cumple

La norma que se usa para la comparación recomienda valores mínimos que estos se deben usar en el diseño estructural y como se observa en la Tabla 10, todos cumplen, a excepción de la resistencia a la flexión que la norma no indica cual debe ser su valor mínimo a cumplir.

3.7. Conclusiones

Los ensayos realizados en la caracterización física indican el tipo de material con el que se trabaja en esta investigación obteniendo un suelo con presencia de arcillas y limos además de alto contenido orgánico, lo cual no es beneficioso para la elaboración de adobes por lo que se han utilizado otros componentes como arena para mejorar sus características.

Los datos obtenidos tanto físicos como mecánicos cumplen con los valores establecidos por la norma E.080, estos serán de gran importancia para la simulación numérica ya que al realizar las configuraciones y calibraciones del software este exige ciertas características de los materiales en este caso del adobe y mortero, obtenidos en laboratorio de los cuales se han definido valores para la simulación. Entre las características obtenidas para el adobe están: esfuerzo máximo a compresión que son 1.25 MPa, densidad de 1538 Kg/m³, coeficiente de Poisson de 0.15 y módulo de elasticidad de 58.92 MPa; las mismas características se han obtenido para el mortero los cuales son: esfuerzo máximo a compresión de 1.22 MPa, densidad de 1553 Kg/m³, coeficiente de Poisson de 0.30 y módulo de elasticidad de 85.54 MPa.

En los datos descritos es importante tomar en cuenta el módulo de elasticidad ya que al tratarse de un material que tiene un comportamiento no lineal ni isótropo pueden variar los resultados entre bloques, por esta razón se debe tener cautela al momento de calibrar los datos.

Para realizar comparaciones de datos de los ensayos de muretes se extraen los datos de sus esfuerzos máximos que serán 0.69 MPa y 5.58 MPa para los ensayos de compresión de murete y compresión diagonal de murete, respectivamente.

En el Ecuador es necesario tener una base de datos extensa acerca de los principales tipos de suelos que se encuentran en las regiones, esto sería de gran aporte para elaborar proyectos que tengan respaldo de organizaciones acreditadas por normativas nacionales e internacionales, evitando caer en errores que suelen ser comunes en cuanto al análisis y caracterización de suelos, no obstante, para realizar una correcta caracterización es clave saber interpretar las normas, sin embargo, es responsabilidad del usuario tratar de mantener las condiciones sugeridas para que los resultados obtenidos sean confiables. Además, se debe tener un extremo cuidado en el tratado de muestras esto como se indicaba en el contexto puede ser fundamental en la obtención de resultados, mientras los ensayos se apeguen más a lo que dictan las normas, sus resultados podrían tener gran confiabilidad.

Capítulo 4: Configuración geométrica y estructural de los casos de estudio

4.1. Introducción

En este capítulo se presenta la selección de la edificación la cual se somete a diferentes parámetros para determinar y comparar su comportamiento estructural. La edificación se encuentra en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en las calles Gran Colombia 13 – 34 y Juan Montalvo, sus datos se observan en la Figura 34.



Figura 34. Ubicación de la edificación de interés

Esta edificación forma parte de una lista de cuarenta y cinco construcciones que han sido objeto de estudio de *Geometry and Proportions of Adobe Vernacular Buildings in Cuenca, Ecuador*. (Cárdenas et al., 2021), esta consiste en el análisis de vulnerabilidad de obras patrimoniales. Se elige precisamente esta edificación ya que se pueden analizar parámetros como, vanos en ventanas y puertas, tipo de viga collar, tipo de cubierta y diferentes cargas.

De este modelo se hace un levantamiento de información en el cual se determinan las dimensiones, siendo objetivos, lo relevante para este trabajo es el detalle de la fachada ya

que el centro histórico actualmente se ha vuelto un atractivo turístico potencial para la ciudad la cual en gran porcentaje atrae por su belleza patrimonial. En consecuencia, muchas edificaciones han tenido que ser modificadas internamente para recibir a los turistas en diferentes actividades comerciales, pero siguen conservándose las fachadas, es por esto que se requiere analizar el comportamiento de las mismas combinando parámetros que se podrían dar por parte de sus propietarios. Cabe recalcar que toda intervención en estas áreas está bajo un riguroso control de las autoridades de la ciudad las cuales se respaldan en la *Ordenanza para la gestión y conservación de las áreas históricas y patrimoniales del cantón Cuenca*.

4.2. Análisis del caso de estudio

Al momento de construir una edificación de adobe se deben tomar en cuenta varias recomendaciones de normas y ordenanzas dependiendo el lugar en donde se vaya a levantar este tipo de construcciones. Según lo que recomiendan guías constructivas se debe tener especial cuidado con aspectos como: conexiones entre muros, ancho de muros, viga collar, dinteles y anchos de vanos tanto en puertas como en ventanas, ya que de estos parámetros dependerá el comportamiento estructural de las fachadas.

4.2.1. Parametrización para el caso de estudio

Según la Norma E.080, los elementos que conforman los entre pisos o techos de las edificaciones de tierra reforzada, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante una viga collar. Por lo que para el caso de estudio se analizan cuatro tipos de fachadas según su viga collar, estas son:

- a. Fachada sin viga collar (FS)
- b. Fachada con viga collar (FV)
- c. Fachada con Tablón (FT)
- d. Fachada con Escalera (FE)

Además, tomando en cuenta que las edificaciones del centro histórico son utilizadas y modificadas en ocasiones para diferentes actividades, por esto se analizarán diferentes modelos tales como fachada con las dimensiones actuales, fachada con apertura para estacionamiento y fachada que cumpla con las dimensiones de la norma. Estas se definen de la siguiente manera:

- a. Fachada estado actual (A)
- b. Fachada modificada para garaje (G)
- c. Fachada cumpliendo con norma (N)

4.3. Configuración geométrica de los muros de adobe

En las Figuras 35 y Figura 36 se observa la fachada seleccionada para el estudio tanto la fachada real como el modelado CAD respectivamente, la misma que se ira modificando según el análisis paramétrico y configuración geométrica necesaria.



Figura 35. Estado actual de la edificación

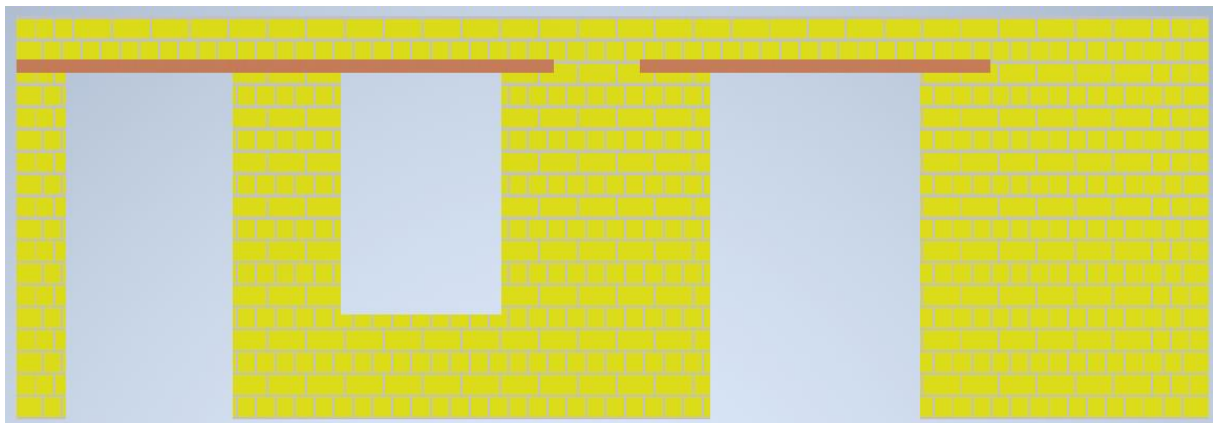


Figura 36. Modelo CAD de la fachada seleccionada

Para obtener este modelo se realizó un aparejo inglés, belga o cruzado, que consiste en ir alternando hiladas de tizones con hiladas de sogá, dando como resultado correspondencia entre las juntas verticales de las hiladas de un mismo tipo. En la Figura 37 se puede observar las hiladas pares e impares que al ir alternando se forma el muro.

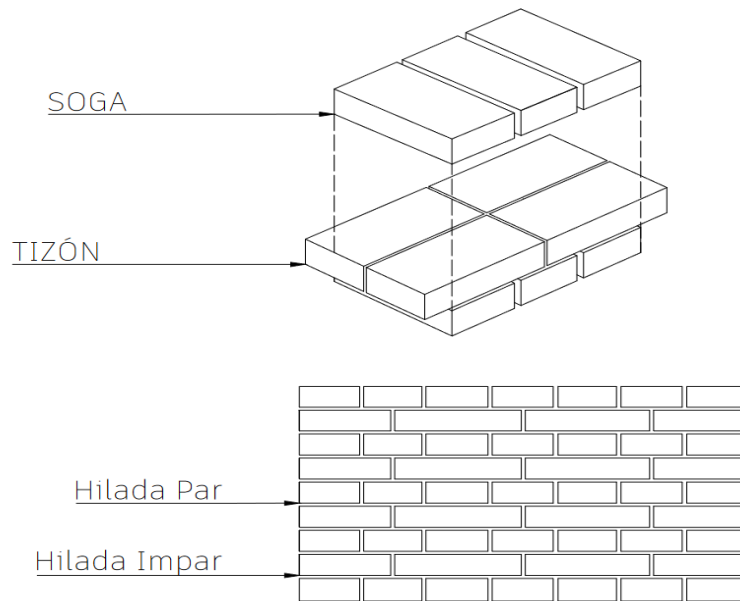


Figura 37. Aparejo inglés. (Franco, 2015)

El modelo fue creado en el software Inventor 3D CAD con licencia estudiantil. Este software proporciona herramientas de diseño, documentación y simulación. Incluye herramientas de modelado paramétrico, de edición directa y de forma libre. Se eligió este método de diseño porque todos los bocetos y las características se pueden corregir, sin tener que empezar de cero.

Las piezas son cruciales en este software, los cuales posteriormente pueden ser ensambladas. Entonces, para iniciar con el diseño, se debe configurar las unidades y elegir el plano en donde se va a trabajar como se observa en la Figura 38.

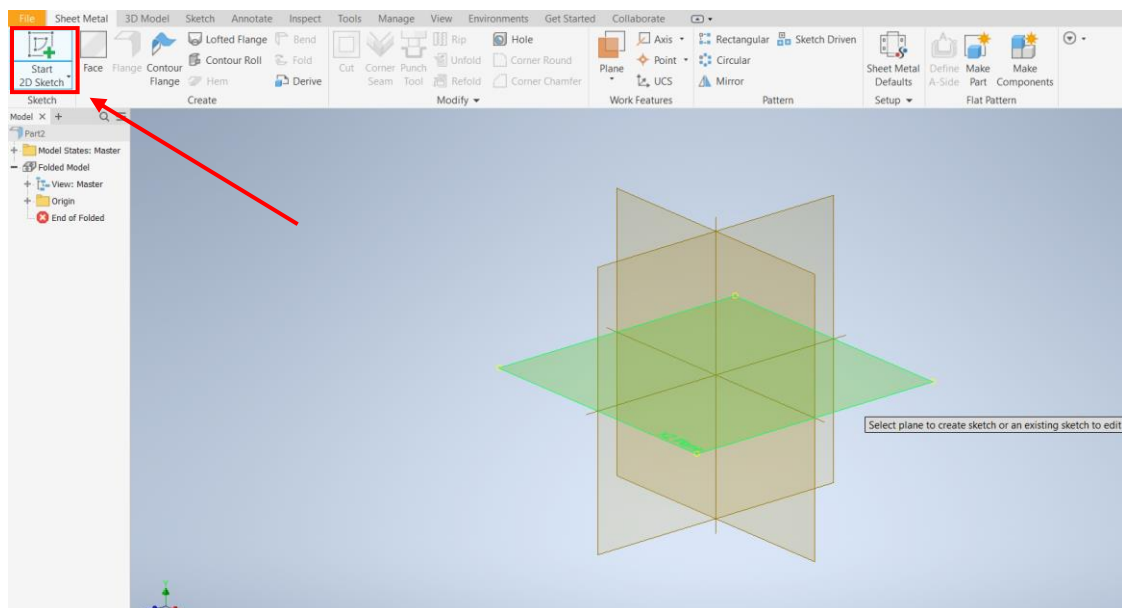


Figura 38. Interfaz inicial del software

Al elegir el plano, inmediatamente se abre la opción de “Sketch” (Boceto), en donde se puede dibujar los elementos básicos, que en este caso serán los bloques de adobe y las juntas de mortero para crear una hilada ya sea par o impar, Figura 39.

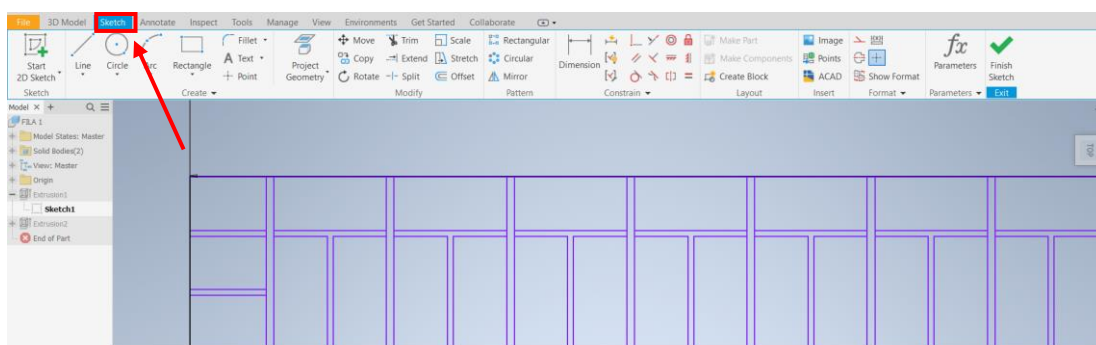


Figura 39. Edición del boceto

Posteriormente cuando se ha elaborado la primera hilada, en la opción de “3D Model”, se selecciona el icono de “Extrude” (Extruir) en donde se especifica el espesor de los bloques para formar un elemento en tres dimensiones, Figura 40.

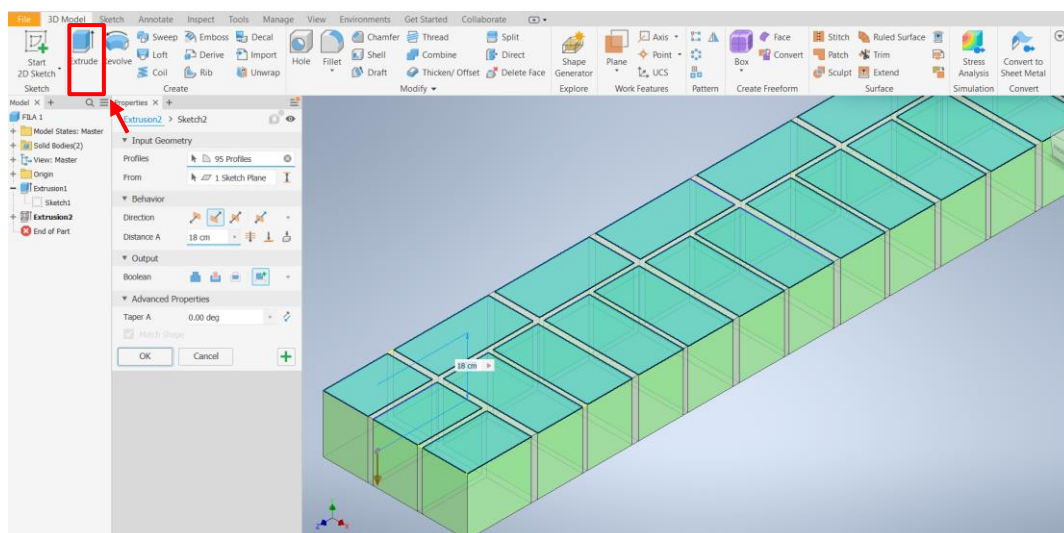


Figura 40. Modelo de hiladas en 3D

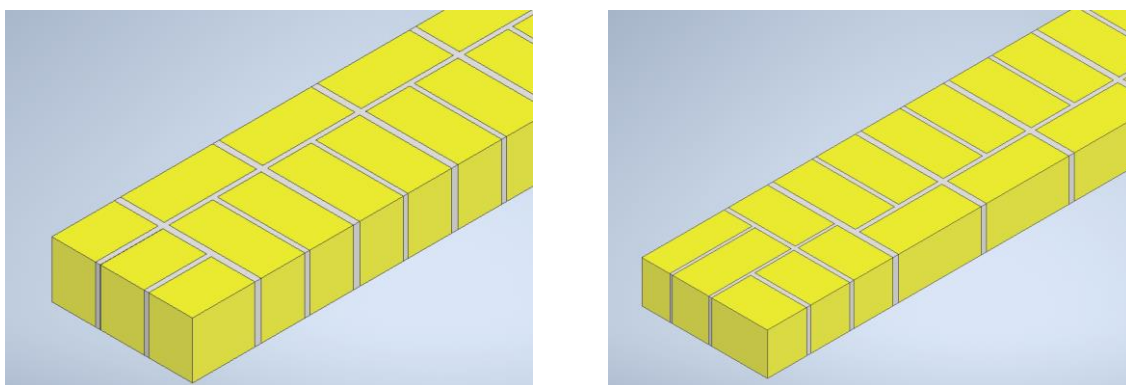


Figura 41. Modelado de hiladas par e impar en software CAD.

Después de diseñar las hiladas par e impar ubicadas en la Figura 41, asegurándose que el formato en el que se guardan los diseños sean los adecuados esto para tener compatibilidad al momento de ensamblar piezas, se abre nuevamente el software, pero ahora se elige la opción de “Assembly” (Ensamblado) como se puede ver en la Figura 42. En esta opción se va a unir una hilada par, mortero y una hilada impar hasta alcanzar la altura del muro que se desea analizar.

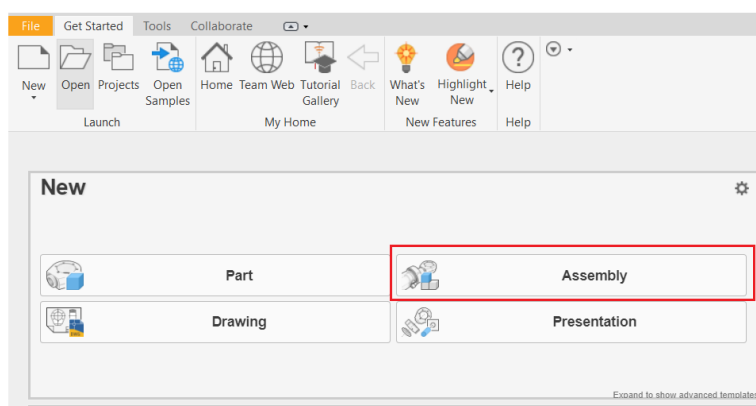


Figura 42. Opción Ensamblaje en software 3D

En la Figura 43 se observa parte del proceso en el cual se ensamblan las hiladas, el icono “Joint” une pieza por pieza como se mencionó anteriormente hasta obtener la forma deseada del muro, dando como resultado la representación en tres dimensiones que se observa en la Figura 44.

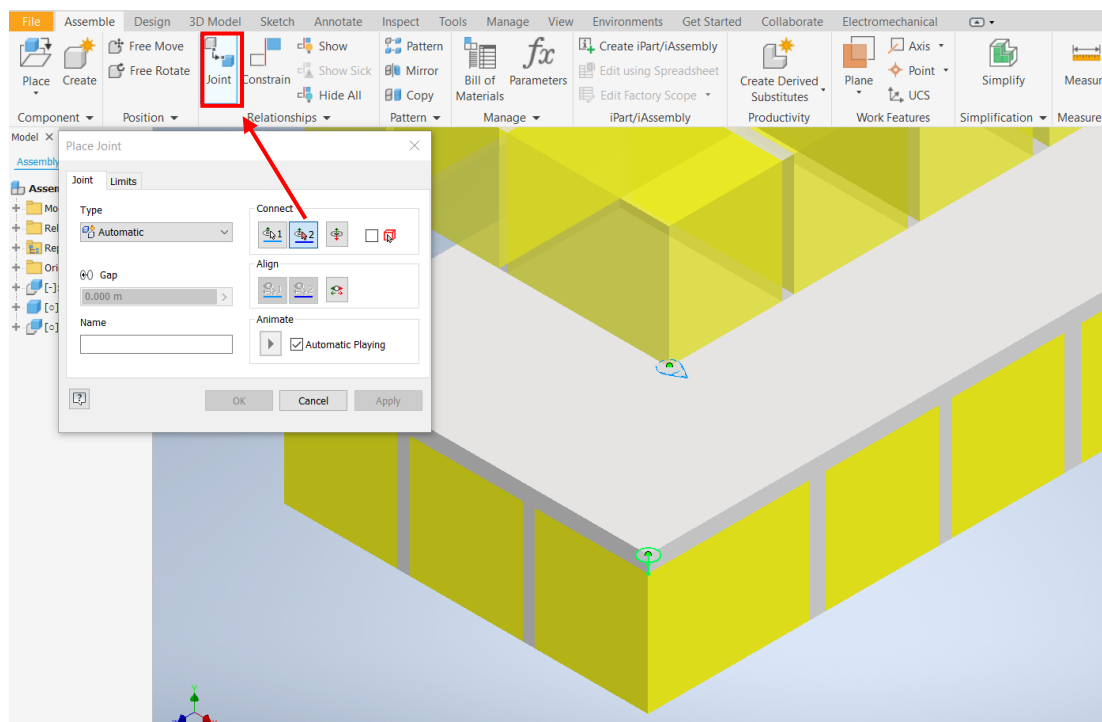


Figura 43. Ensamblaje de hiladas en software 3D

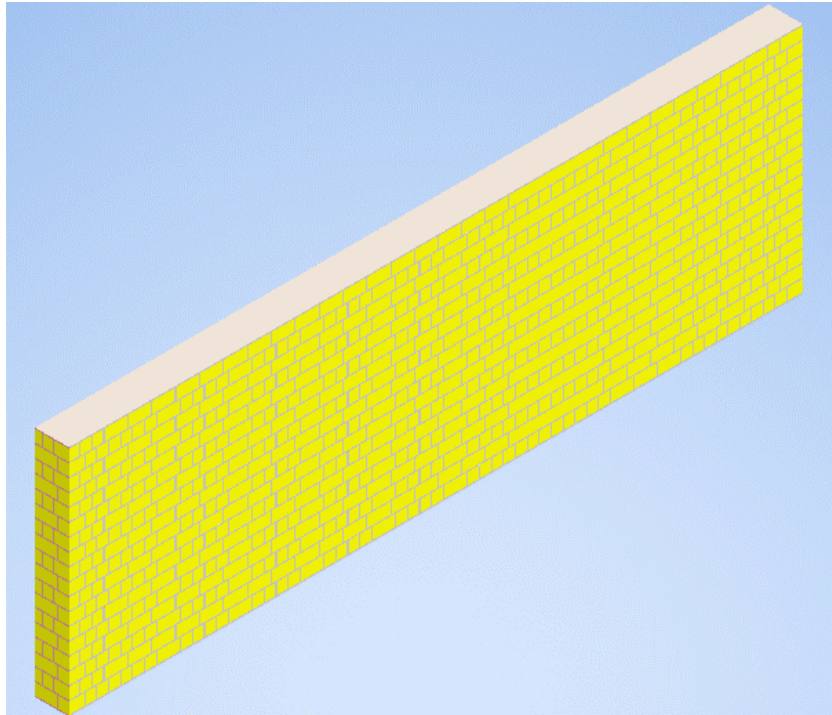


Figura 44. Modelado CAD de muro de adobe

Luego de haber construido el muro se procede a abrir vanos para puertas, dinteles y ventanas, esto con la ayuda de la opción “Sketch” con la cual se dibujan las dimensiones de los elementos mencionados y realizando una extrusión del espesor del muro que en este caso es de 45 cm logrando obtener la fachada que se observa en la Figura 45.

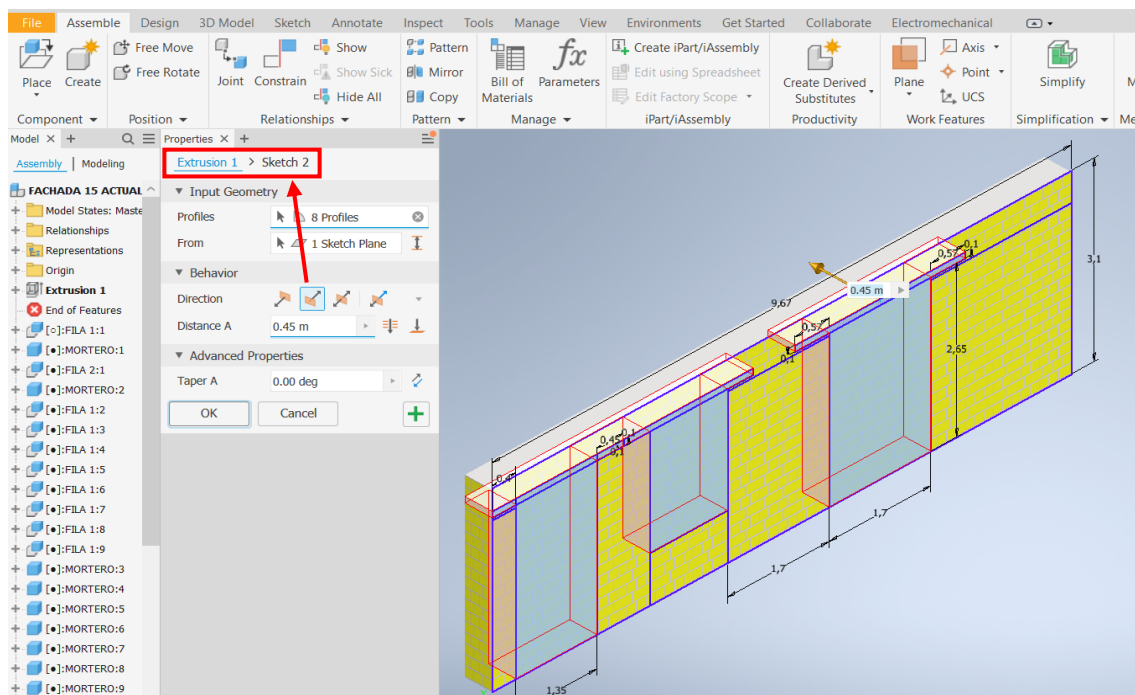
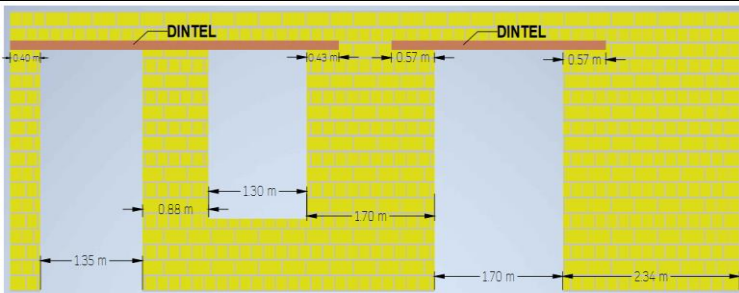
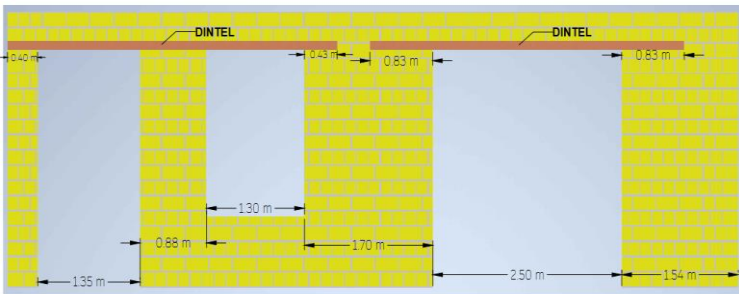
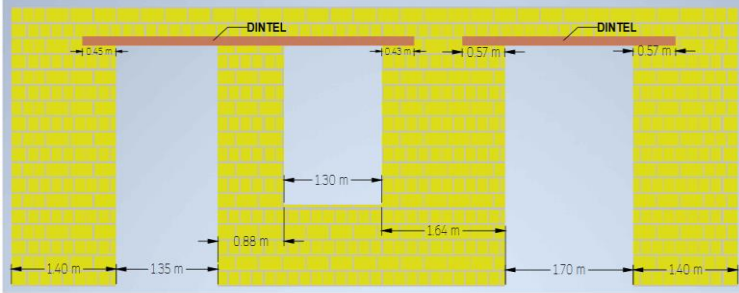


Figura 45. Apertura de vanos para puertas y ventanas

Finalmente, se ensambla los elementos que se van a variar, estos son los dinteles y vigas, para obtener del modelo requerido para cada análisis. (ver Tabla 11)

El elemento estructural que se encarga de soportar el peso que existe sobre los vacíos, es decir sobre puertas y ventanas, con el objetivo de transmitir cargas a los extremos laterales de estas, son los dinteles. Debido a esto son una de las configuraciones geométricas más importantes de este estudio. Según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) recomienda que la distancia que se empotra el dintel en el muro sea de un tercio del ancho de la puerta. En la Tabla 11 se muestra la fachada actual, fachada con garaje y fachada con dimensiones recomendadas por la norma E.080 con sus respectivas distancias de empotramiento.

Tabla 11. Distancias de empotramiento del dintel.

	FACHADA	DISTANCIA EMPOTRAMIENTO DINTEL
ACTUAL		Puerta Izquierda 0.40 m Puerta Derecha 0.57 m Ventana 0.43 m
GARAGE		Puerta Izquierda 0.40 m Puerta Derecha 0.83 m Ventana 0.43 m
NORMA		Puerta Izquierda 0.45 m Puerta Derecha 0.57 m Ventana 0.43 m

En el caso de la fachada actual con un ancho de puerta de 1.35 m, la distancia del empotramiento debe ser 0.45 m, pero la distancia entre muro y vano de la puerta izquierda es de 0.40 m. Para la fachada modificada para garaje con un ancho de 2.50 m se tiene una distancia de 0.83 m. Y por último se tiene la fachada que cumple con la norma E.080 en cuando a los límites geométricos de muros y vanos.

En cuanto a los parámetros que se van analizar en la investigación se encuentra la viga collar que va a variar en cada una de las fachadas mencionadas anteriormente. Una viga collar conocida también como viga corona, viga amarre, viga anillo o viga solera, amarra los muros formando una estructura tipo caja esto se observa en la Figura 46, todas las construcciones de adobe deben tener una viga collar que sirva de unión de los muros (Valdivia, 2016).

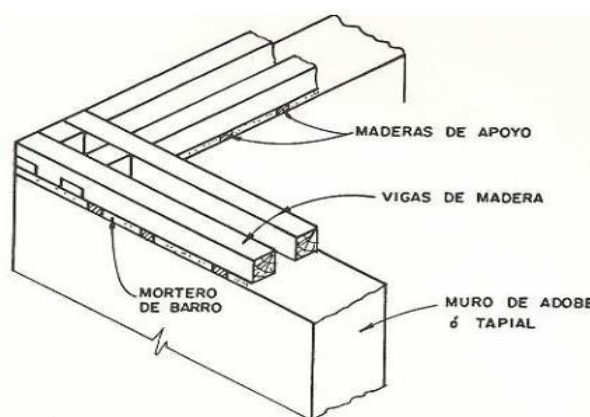


Figura 46. Viga collar. (Giles et. al, 2010.)

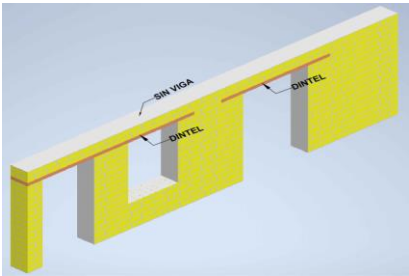
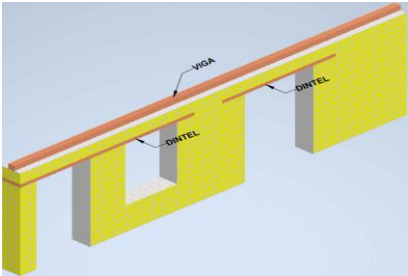
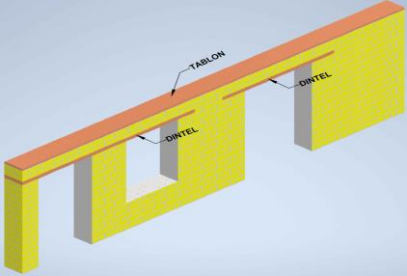
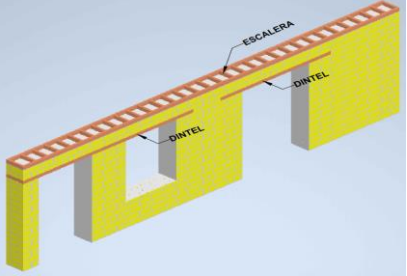
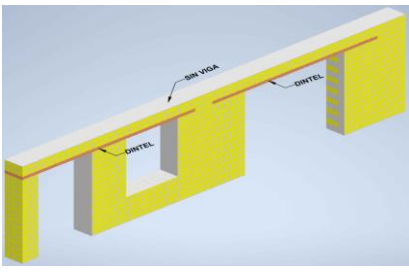
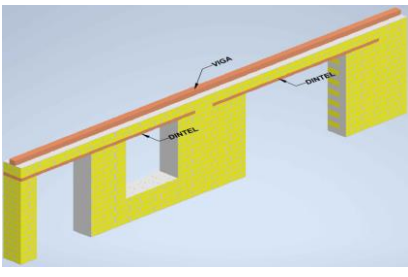
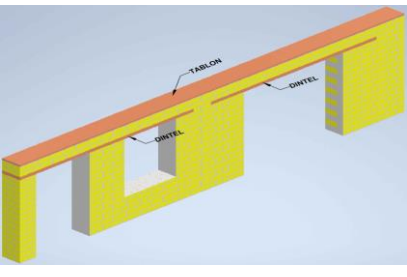
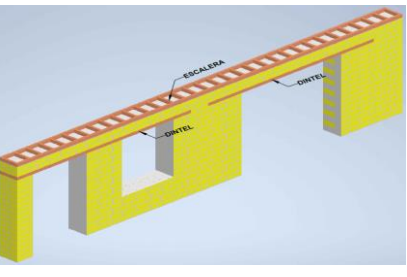
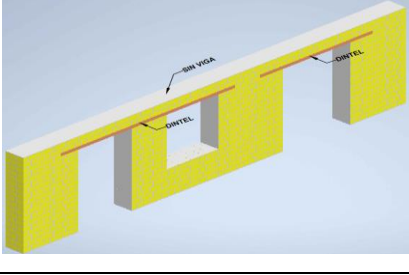
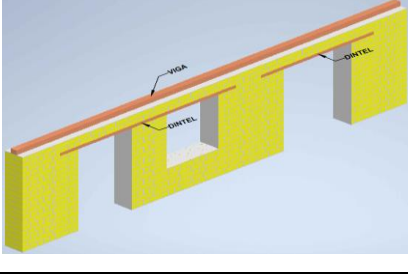
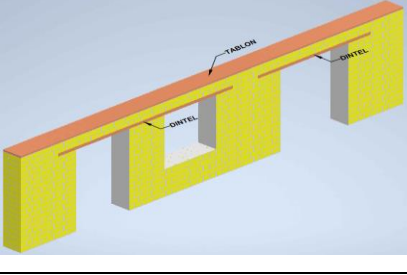
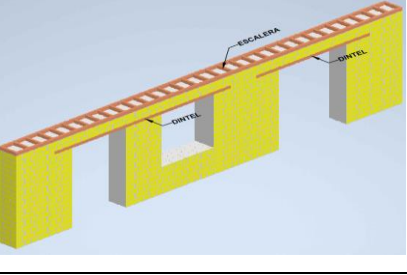
Entre las funciones de la viga collar se puede mencionar que ayudan a confinar los muros, también sirven de arriostre para los muros portantes de adobe y ayudan a transferir las cargas del techo sobre los muros distribuyéndolas uniformemente. Por ello se ha considerado que la viga collar es parte fundamental en la capacidad estructural de muros de adobe. Debido a esto, se presentan tres tipos de viga collar que permitirán determinar el mejor comportamiento estructural de las fachadas. Es importante mencionar que se tiene un modelo sin viga collar, esto para tener un punto de partida y poder relacionar los comportamientos de los modelos.

Los tipos de viga collar que se modelaron son:

1. Viga: Está ubicada en el centro del muro y es de 15 cm x 15 cm de sección transversal.
2. Tablón: Cubre todo el espesor del muro y es de 45 cm x 5 cm de sección transversal.
3. Escalera: Elemento armado de segmentos de madera de 45 cm x 10 cm de sección transversal.

Los modelos elaborados para el análisis se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Modelado CAD de fachadas

FACHADAS	SIN VIGA COLLAR	VIGA	TABLON	ESCALERA
ACTUAL				
GARAJE				
NORMA				

4.4. Configuración estructural de los casos de estudio

La configuración estructural se define como la distribución y localización que se les dan a todos los elementos resistentes de una estructura, tales como: columnas, muros, entresijos, etc. Además, se debe tener en cuenta dentro de este concepto a todos los elementos no estructurales, como la disposición de muros, la geología del sector, clima reglamentos de diseño urbano y lo más importante la carga que soporta la estructura. De ahí se lleva a cabo la pregunta de, ¿Qué pasaría si es que se modifican las cubiertas, es decir, si la carga vertical que recibe la fachada cambia, como se comportaría estructuralmente? Para responder esto, se consideran cinco opciones:

1. Carga Actual 46.8 KN, esta carga nace del análisis de los materiales que componen la cubierta actualmente tales como madera, carrizo, tierra la cual se cubre con tejas de elaboración local, esto se presenta en la Figura 47. Para esta configuración se utilizará el código **46** anteponiendo el tipo de fachada.



Figura 47. Esquema de cubierta actual

2. Carga Ligera 30 KN, suponiendo que se cambia la cubierta actual y se reemplaza por una de estilo “moderno” en la cual se utilizan diferentes elementos como correas de madera, planchas de fibrocemento recubiertas con tejas de elaboración industrial esto se detalla en la Figura 48. Para esta configuración se utilizará el código **30** anteponiendo el tipo de fachada.



Figura 48. Esquema de cubierta moderna

3. Carga 1.5 veces la carga soportada por la Fachada Actual, equivalente a 70 KN. Para esta configuración se utilizará el código **70** anteponiendo el tipo de fachada.
4. Carga 2 veces la carga soportada por la Fachada Actual, equivalente a 90 KN. Para esta configuración se utilizará el código **90** anteponiendo el tipo de fachada.
5. Carga 3 veces la carga soportada por la Fachada Actual, equivalente a 150 KN. Para esta configuración se utilizará el código **15** anteponiendo el tipo de fachada.

Entonces a cada modelo CAD de la Tabla 12 se va a simular con cada una de las cargas mencionadas anteriormente. Lo que nos lleva a obtener un total de sesenta modelos. En la Tabla 13 se presenta los códigos de cada modelo que será simulado, que consisten en combinar las nomenclaturas de la sección 4.2. y de números que representan las cargas mencionadas anteriormente, por ejemplo, **FSA46** que representa una Fachada Sin viga collar Actual con una carga de 46 KN.

Tabla 13. Códigos de los modelos a simular

FACHADA	SIN VIGA COLLAR	VIGA	TABLON	ESCALERA
ACTUAL	FSA 46	FVA 46	FTA 46	FEA 46
	FSA 30	FVA 30	FTA 30	FEA 30
	FSA 70	FVA 70	FTA 70	FEA 70
	FSA 90	FVA 90	FTA 90	FEA 90
	FSA 15	FVA 15	FTA 15	FEA 15
GARAGE	FSG 46	FVG 46	FTG 46	FEG 46
	FSG 30	FVG 30	FTG 30	FEG 30
	FSG 70	FVG 70	FTG 70	FEG 70
	FSG 90	FVG 90	FTG 90	FEG 90
	FSG 15	FVG 15	FTG 15	FEG 15
NORMA	FSN 46	FVN 46	FTN 46	FEN 46
	FSN 30	FVN 30	FTN 30	FEN 30
	FSN 70	FVN 70	FTN 70	FEN 70
	FSN 90	FVN 90	FTN 90	FEN 90
	FSN 15	FVN 15	FTN 15	FEN 15

4.5. Conclusiones

Ya que actualmente el centro histórico de la ciudad de Cuenca atrae mucho turismo nacional e internacional el cual ha crecido en los últimos años por lo que también es importante analizar el comportamiento estructural de los cambios o modificaciones que los propietarios realizan

UCUENCA

en estas edificaciones con el objetivo de adecuar los lugares para diferentes necesidades turísticas y obtener un beneficio económico, cabe recalcar que en la ciudad existen estrictos controles sobre las modificaciones que se realizan en las infraestructuras por lo que se ha vuelto un problema para los dueños que restauran lugares sin el consentimiento del ente municipal, además de representar costos muy elevados sin que exista colaboración por parte de las mismas autoridades para mantener intacto el patrimonio que distingue y atrae de esta ciudad.

Por esta razón es importante analizar el comportamiento estructural de los cambios o modificaciones que los propietarios realizan en las edificaciones y para esto se modelan cuatro tipos de fachadas en función de su viga, para esto se han definido como; Fachadas sin viga collar (FS), Fachadas con viga collar (FV), Fachadas con tablón (FT), Fachada con escalera (FE). Adicionalmente a estos modelos se incluirán tres fachadas con diferentes configuraciones geométricas, estas son: Fachada estado actual (A), Fachada modificada para garaje (G), Fachada cumpliendo con norma (N).

Con estos dos tipos configuraciones ya se pueden ir haciendo modelos completos como por ejemplo una fachada con tablón y modificada para garaje la cual se identifica con el código (FTG) y así con todos los parámetros establecidos.

Finalmente, se definen las cargas que se utilizarán, estas se basan en el tipo de cubierta de la edificación, es decir, se estudia con la cubierta típica de una casa de adobe que contiene elementos como madera, carrizo, tierra y teja, adicionalmente se realiza el estudio con una fachada moderna la cual contiene elementos como correas, planchas de fibrocemento y teja, estas reemplazan a los materiales que se usaban comúnmente y se usan dos cargas adicionales suponiendo que se levanta un piso sobre la edificación actual.

Se ha podido observar que uno de los componentes esenciales en la determinación de la capacidad estructural de los muros de adobe es la viga collar, que amarra los muros formando una estructura tipo caja, la cual recibe y soporta las cargas del techo. Por lo tanto, es uno de los parámetros principales definidos como objetos de estudio en esta investigación ya que dependiendo el tipo del elemento y el peso que este soporte se esperaría que varíe el comportamiento de toda la fachada en la cual se distribuyen las cargas. Otro de los parámetros a analizar son los dinteles los cuales se encargan de la protección en vanos de puertas y ventanas con el objetivo de mitigar fisuras diagonales y sostener elementos que se ubican sobre estos espacios.

Capítulo 5: Modelación de fachadas de adobe y determinación de la capacidad estructural

5.1. Introducción

Las estructuras construidas con adobe suelen ser vulnerables ante fenómenos sísmicos, ante el envejecimiento del material debido al ataque de las lluvias y por bajas resistencias a la flexión debido a que se construye en muchas ocasiones sin el refuerzo ni la técnica que exige actualmente la normativa. Por esto es necesario estudiar el comportamiento estructural de dichas estructuras sometidas a diferentes tipos de cargas, una de las maneras sería realizar modelos de muros o fachadas a escala real y estudiarlas en laboratorios pero esto implica elevados costos en su fabricación además de requerir de equipos especiales que representan altos valores de inversión, por esta razón una de las alternativas es la simulación numérica mediante modelos computacionales aplicando el método de elementos finitos.

El análisis numérico se viene dando desde hace ya algunos años gracias al desarrollo computacional que avanza a pasos agigantados, en países como España, México y Perú se han realizado simulaciones numéricas en estructuras de mampostería en su mayoría con ladrillo y hormigón, sin embargo, las construcciones de adobe han sido objeto de estudio ya que muchas ciudades patrimoniales tienen construcciones de tierra en cerca de un 30% (Rael, 2009) las cuales se busca conservar y potenciar dentro del ámbito turístico. La mayoría de investigaciones hacen énfasis en el comportamiento sísmico, pero se ignora el comportamiento cuando las estructuras sufren modificaciones para diferentes usos que se les da actualmente por diferentes necesidades de los propietarios.

En el Ecuador una de las mayores atracciones turísticas son los centros históricos en ciudades como Quito, Ambato y Cuenca esto debido a sus atractivas casas patrimoniales que muestran fachadas de antaño, por esta razón este trabajo se enfoca en el comportamiento estructural de dichas fachadas y sus respuestas frente a modificaciones paramétricas.

En la modelación y simulación de fachadas de adobe se utiliza un programa de elementos finitos el cual consta de varios procesos para obtener resultados confiables y pegados a la realidad. Este proceso se basa en los modelos definidos en el capítulo 4, ya que estos elementos CAD serán ingresados para determinar el comportamiento estructural de las fachadas, para este trabajo los modelos son tridimensionales en forma de sólidos. Una vez integrados los modelos se asignan propiedades mecánicas derivadas de los materiales los cuales se encuentran en bibliotecas del mismo software, estos pueden ser modificados de acuerdo a las exigencias de cada simulación. Es importante que la geometría del modelo sea procesada esto para disminuir el gasto computacional, se puede limpiar, revisar y simplificar a través de herramientas anexas al programa. Cuando la geometría esté totalmente

optimizada se puede realizar el mallado, esta sección es la más importante, ya que se tienen que acercar a través de métricas para poder revisar la validez de los elementos, dicha validez según su deformidad brindará buenos o malos resultados, para esto es importante definir los tipos de físicas en las que se trabajará.

Una vez discretizado el elemento se puede realizar el análisis del comportamiento estructural para diferentes cargas, así como la combinación de estas. Con esto se determinan las deformaciones unitarias y esfuerzos, de igual manera se localizarán los puntos críticos de la estructura.

5.2. Principales parámetros para modelación

La fachada objeto de estudio se trata de una edificación de mampostería no reforzada de adobe. Este tipo de construcciones son típicas en el casco urbano de la ciudad de Cuenca. Tradicionalmente están compuestas de materiales como adobe y madera, esta última se utiliza en elementos como dinteles, vigas, puertas y ventanas. Generalmente los adobes son pegados con la misma tierra con la que fueron elaborados, solo que se la humedece hasta que sirva como mortero, se mencionaba en el capítulo 2 que el espesor del mortero es un factor importante al momento de la construcción.

Muchos autores recomiendan diferentes formas para resolver un problema estructural en el modelamiento de una fachada de mampostería, todo dependerá del detalle del modelo y por ende sus resultados, por esta razón es importante definir claramente lo que es un micro y macro modelo los cuales se muestran gráficamente en la Figura 49. a), b), c).

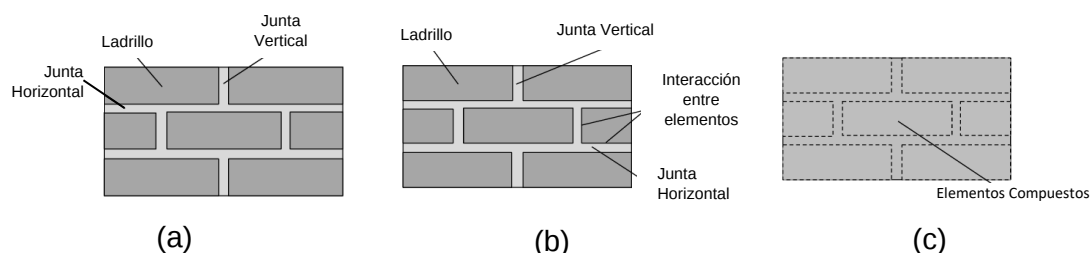


Figura 49. (a) Mampostería; (b) Micro – Modelo; (c) Macro – Modelo. (Campbell J. 2012)

El micro – modelo que se indica en la Figura 49. b), considera las juntas como elementos individuales, así como los bloques de adobe, además, toma en cuenta las interacciones que hay entre las caras del mortero y el bloque, es decir existen discontinuidades entre los diferentes materiales, por esta razón cuando se hacen simulaciones de este tipo de modelos se obtienen resultados detallados en el comportamiento de las estructuras, así como sus tipos de fallas.

UCUENCA

El macro – modelo indicado en la Figura 49. c), en cambio considera elementos homogéneos el cual se puede realizar simulaciones, pero no reproducirá todos los tipos de fallas que se puedan dar en una estructura.

Dicho esto, los micro – modelos requieren mayor información acerca de las propiedades de los materiales ya que de esto dependerá que los resultados sean válidos y confiables, por esta razón se han realizado los ensayos de comportamiento físico y mecánico de los cuales se han determinado las siguientes propiedades descritas en la Tabla 14.

Tabla 14. Propiedades mecánicas de los materiales

Propiedad	Adobe	Mortero
Esfuerzo a compresión (MPa)	1.16	1.22
Esfuerzo a flexión (MPa)	1.32	-
Módulo de Elasticidad (MPa)	59.79	84.71

En total se analizarán sesenta modelos los cuales tienen variaciones que se detallaron en la Tabla 12. Estos modelos se ingresan en un programa de simulación mediante elementos finitos el cual se divide en cuatro secciones:

a. Geometría

Para realizar una representación gráfica en computadora hoy en día se utiliza el Diseño Asistido por Ordenador (CAD), se utiliza en diferentes áreas como la arquitectura, ingeniería, automoción, etc. con uno de los avances más significativos que es la incorporación de la tercera dimensión (European Knowledge Center for information Technology, 2018).

Existen diferentes tipos de CAD, estos son:

2D: modelos bidimensionales

2 ½D: se añaden características tridimensionales adicionales al modelo 2D

3D: modelos técnicos tridimensionales en su totalidad.

Las configuraciones geométricas que se usarán en el trabajo están definidas en formato CAD 3D debido a que el software exige este tipo de modelo para su análisis mediante elementos finitos. Este proceso es más elaborado de lo que aparenta ya que cualquier geometría se puede procesar y encontrar resultados, pero uno de los objetivos de este trabajo es la optimización de recursos y gasto computacional, por esta razón todo modelo tiene que pasar por un conjunto de pasos en los que se diseña, repara y prepara el modelo para un correcto funcionamiento.

En la Figura 50 se observa la sección de diseño en donde se importa el modelo CAD en forma de sólido, posteriormente si se tienen elementos que comparten las mismas características se tienen que combinar esto para reducir el número de cuerpos sin alterar la geometría, se hace mediante la opción “Combine”.



Figura 50. Interfaz de la sección Diseñar de programa de elementos finitos

En la Figura 51 se presenta la sección reparar que se utiliza para corregir pequeños errores que se puedan detectar en la geometría que se arrastre desde el software en el cual fue construido, errores como caras pequeñas, bordes inexactos, bordes extra, caras dobles y pequeños espacios serán eliminados, estos detalles que en otros casos se podrían obviar son determinantes para la construcción de la malla ya que al realizar una simulación bajo elementos finitos, estos son cuerpos pequeños que cualquier falla podría provocar resultados alejados de lo que se requiere en la investigación.

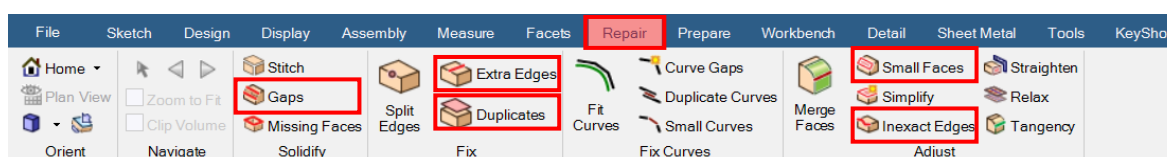


Figura 51. Interfaz de la sección Reparar de programa de elementos finitos

Finalmente, la Figura 52 indica la sección preparar, en donde se eliminan interferencias que se puedan encontrar en el modelo, este proceso es importante ya que de no corregir esto las interferencias se mostrarán en el momento del mallado provocando que esta falle o presente un error de procesamiento. En esta sección también es necesario grabar las caras que estén en contacto, el objetivo es que el programa detecte las interacciones entre cuerpos que ayudara a la simulación acercarse a la realidad.

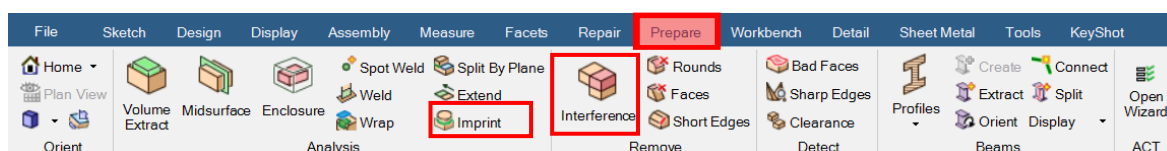


Figura 52. Interfaz de la sección Preparar de programa de elementos finitos

Este pre – proceso es importante para obtener una geometría optimizada en donde muchas veces se sustituye la geometría original por un modelo aproximado o equivalente, sin embargo, se deben mantener las características del problema a resolver, que observando la Figura 53. a). por ejemplo, se indica como el mortero de un murete fue unificado y separado

de los bloques de adobe indicado en la Figura 53. b)., y posteriormente se puede realizar un correcto mallado.

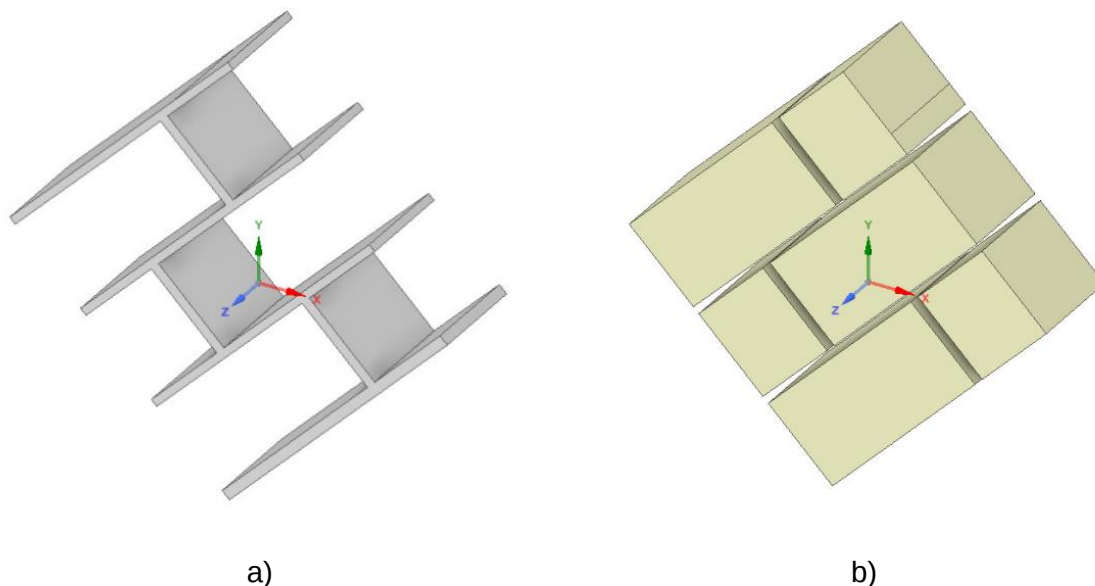
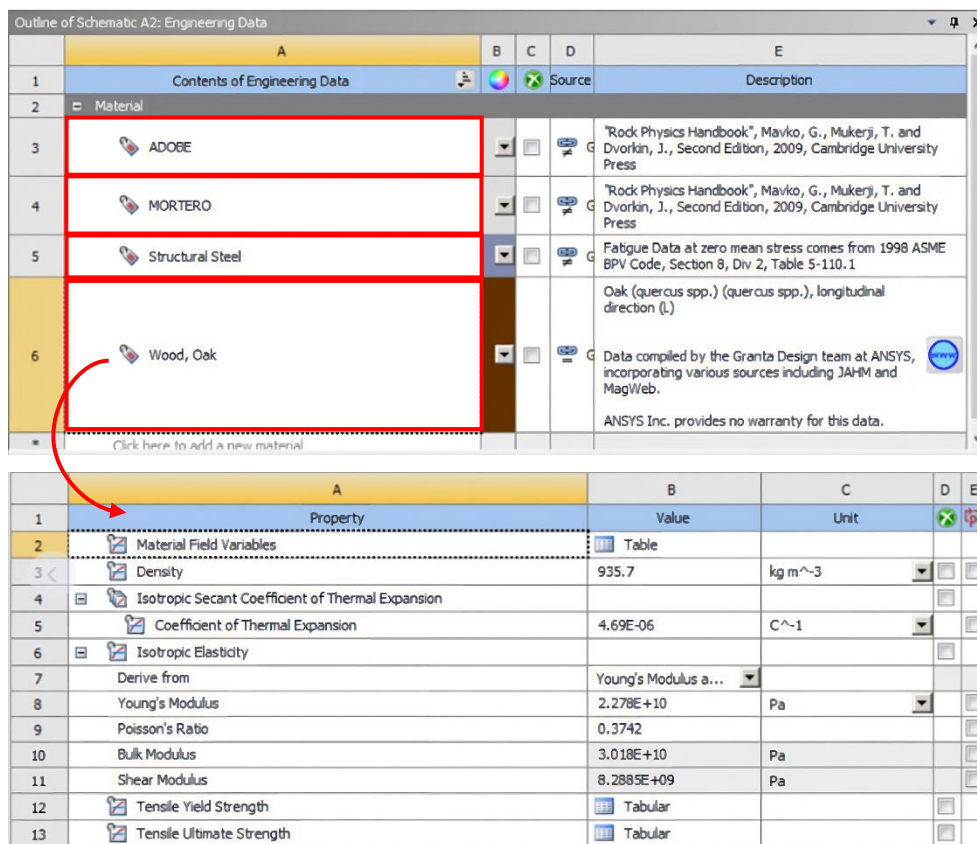


Figura 53. a). Geometría optimizada del mortero para la simulación del ensayo a compresión diagonal; b). Geometría optimizada de los adobes para la simulación del ensayo a compresión diagonal

b. Biblioteca de Materiales

El programa utilizado para simulación cuenta con una extensa biblioteca de materiales que se deben definir para cada elemento que forme parte de la geometría y vaya a ser ingresado en el programa de simulación, cabe recalcar que en caso de que no se definan los materiales el programa no podrá realizar el análisis debido a que se está trabajando un micro – modelo el cual requiere de especificaciones de materiales. El material ingresado será de gran importancia para la simulación ya que dependiendo de su tipo se observarán diferentes comportamientos en las estructuras y sus componentes. En caso de que el programa no cuente con el material que se desea trabajar existen bibliotecas externas de las cuales se pueden importar los materiales con todas sus características y estas serán totalmente compatibles con el programa siempre y cuando se tenga claro el objetivo de la simulación, por último, si en ninguna biblioteca tanto interna como externa al programa se encuentran materiales que exige el usuario, estos pueden ser creados de forma manual, ingresando propiedades que se obtengan a través de ensayos realizados en laboratorio o establecidos por normativas, en esta investigación se ha realizado la última premisa. Los materiales tienen toda característica que se podría suponer, entre las más importantes son propiedades físicas, mecánicas, termodinámicas, eléctricas, etc. Dependerá el tipo de simulación que se va a realizar para interpretar las propiedades indispensables de cada material. En la Figura 54 se observa la ventana en la cual se detallan algunos materiales que se usan en la simulación

numérica, como se mencionaba se pueden importar, exportar y crear materiales de acuerdo a las necesidades requeridas.



Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	ADOBE				"Rock Physics Handbook", Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J., Second Edition, 2009, Cambridge University Press
4	MORTERO				"Rock Physics Handbook", Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J., Second Edition, 2009, Cambridge University Press
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
6	Wood, Oak				Oak (quercus spp.) (quercus spp.), longitudinal direction (L) Data compiled by the Granta Design team at ANSYS, incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS Inc. provides no warranty for this data.
	Click here to add a new material				

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	935.7	kg m^-3		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	4.69E-06	C^-1		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus a...			
8	Young's Modulus	2.278E+10	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3742			
10	Bulk Modulus	3.018E+10	Pa		
11	Shear Modulus	8.2885E+09	Pa		
12	Tensile Yield Strength	Tabular			
13	Tensile Ultimate Strength	Tabular			

Figura 54. Biblioteca de materiales para la simulación

c. Mallado

El mallado es la plataforma integrada que permite discretizar modelos para diferentes tipos de físicas, hay que entender que mientras más fino el mallado, mejores resultados, pero esto produce un gasto computacional innecesario.

La geometría optimizada junto con el material incorporado a cada elemento se resuelve a través de elementos finitos los cuales se basan en el criterio de falla de Drucker – Prager. El modelo clásico se presenta de la siguiente manera (Chen y Han, 1988)

$$f(I_1, J_2) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - K = 0 \quad (\text{E1})$$

En donde los coeficientes α y K en la ecuación (E1) representan las características físicas de los materiales.

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (\text{E2})$$

$$J_2 = \frac{1}{6} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] \quad (\text{E3})$$

UCUENCA

En donde I_1 y J_2 representan la primera invariante del esfuerzo de tensión y la segunda invariante del esfuerzo desviador de tensión, respectivamente (Alejano y Bobet, 2012). Estos a su vez están en función de los esfuerzos en las tres direcciones principales.

Luego de haber optimizado la geometría y haber definido correctamente las características de los materiales se proceden a realizar el mallado del modelo, inicialmente dependiendo si la geometría no tiene formas complejas se puede realizar un mallado global y este se podría analizar, pero para este trabajo se tiene una fachada con cientos de elementos de adobe, mortero y dinteles de madera por lo que la malla debe tener un correcto tratamiento para evitar errores. En primer lugar, se define la preferencia de física del modelo, en este caso se utiliza un “Mechanical” que a diferencia de procesos en los que se usa fluidos, electromagnetismo, etc. En la Figura 55 se observa el caso de un ensayo a compresión de un bloque de adobe el cual al ser un solo elemento basta con realizar un mallado global que será suficiente para el análisis.

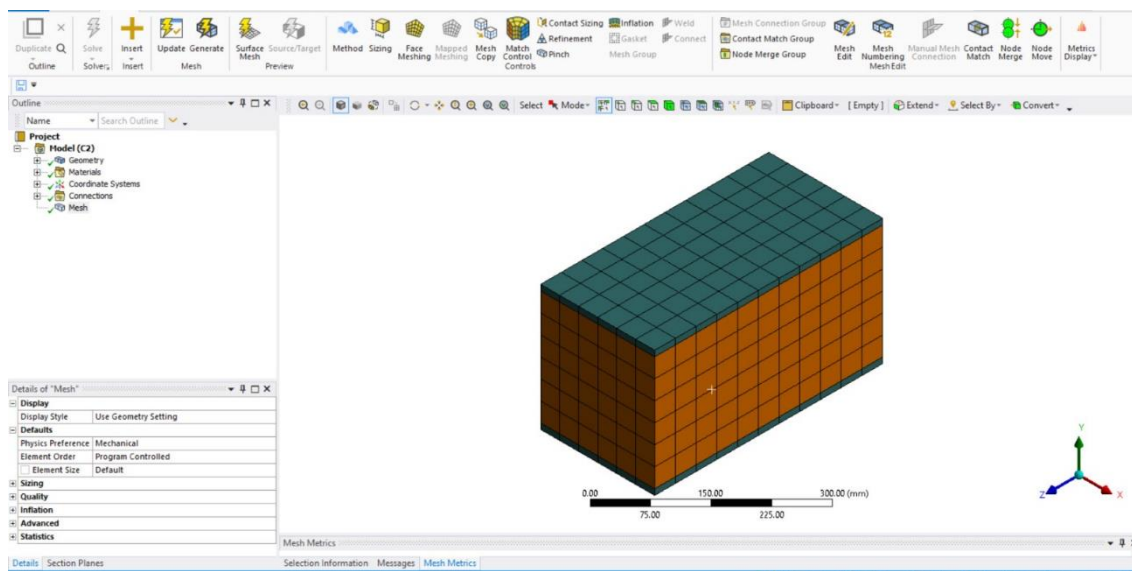


Figura 55. Mallado global en un ensayo a compresión de un bloque de adobe

- Defaults

En la opción “Defaults” mostrada en la Figura 56 se encuentran características predeterminadas en donde se hace énfasis en el “Element Size” el cual indica el tamaño de los elementos de la malla, el software recomienda la opción adecuada de acuerdo a la geometría por lo tanto se mantiene esta por defecto.

Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
☐ Element Size	Default

Figura 56. Selección de tipo de físicas utilizadas en la simulación

- Sizing

En la Figura 58 se observa la pestaña del “Sizing” dentro de esta se modifica la opción “Resolution” la cual indica el tamaño de detalle en los elementos de la malla, mientras más alta es la resolución se obtiene mayor detalle en la malla, pero esto requiere mayor gasto computacional. La opción “Transition” indica el cambio que se da entre un sector y otro secuencial, para estos modelos se recomienda una transición lenta ya que se logrará un mallado uniforme cuando existan cambios bruscos en la geometría. Finalmente, la opción “Span Angle Center” controla el refinamiento basado en curvatura para los bordes, esta tiene tres opciones con sus rangos de ángulo con intervalos definidos como **Grueso (91°-60°)**, **Medio (75°-24°)**, **Fino (36° - 12°)**. Por ejemplo, la Figura 57 muestra una región curva, si se extiende a 360° para crear un círculo, el ángulo normal de curvatura se extiende desde el centro del círculo hasta la región de la curva (Manual ANSYS, 2021).

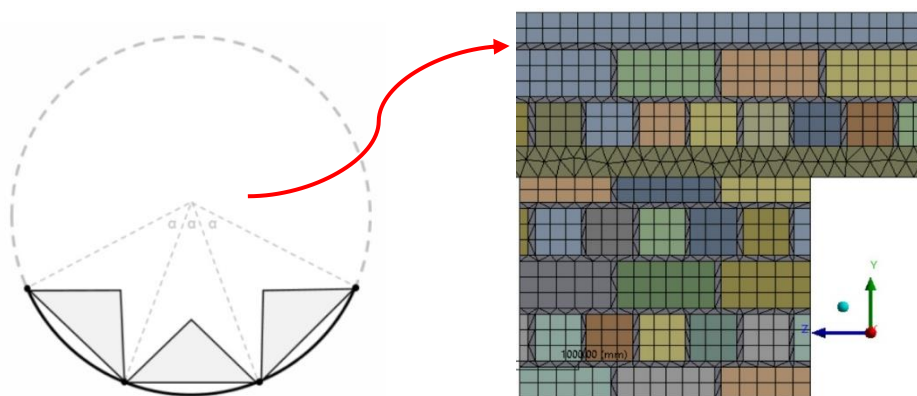


Figura 57. Angulo normal de curvatura

Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	2
Mesh Defeaturing	Yes
☐ Defeature Size	Default
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	498,4 mm
Average Surface Area	41333 mm ²
Minimum Edge Length	10, mm

Figura 58. Opciones del “Sizing” para el mallado de un elemento a compresión

- Quality

En la Figura 59 se muestra la ventana de “Quality” en donde una de las opciones más importantes es la del “Smoothing”, esta indica el suavizado de la malla, la cual mejora la calidad de los elementos de la malla moviendo las posiciones de los nodos con respecto a elementos adyacentes, por lo tanto, los niveles bajo, medio y alto controla el número de iteraciones del suavizado influyendo directamente en el valor de la métrica. Luego está la opción “Mesh Metric” califica la calidad de la malla para esto es importante entender que

UCUENCA

mientras más pequeño sea el tetraedro este tendrá una mejor calificación a través de métricas. Existen diferentes tipos de métricas, para diferentes tipos de físicas Jacobian Ratio, Skewness, Orthogonal quality, etc. pero para este tipo de sólidos se recomienda el Jacobian Ratio que indica la calidad de la malla, estas calificaciones se ubican en rangos, de los cuales se buscará que el mallado de todas las simulaciones esté dentro de la excelencia para un correcto funcionamiento de la simulación numérica.

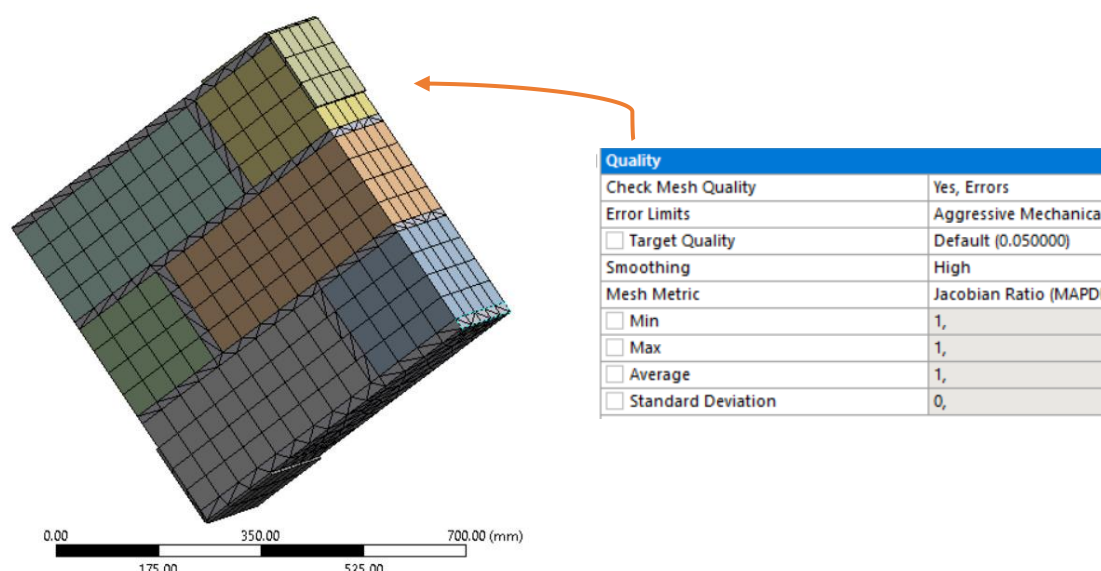


Figura 59. Selección de la métrica a ser utilizada en la simulación

Jacobian Ratio, tiene los siguientes valores definidos de métrica que se muestran en la Tabla 15, los cuales indican la calidad en la calibración de la malla.

Tabla 15. Valores de la métrica según el método Jacobian Ratio

Inaceptable: 0 – 0.001
Malo: 0.001 – 0.14
Aceptable: 0.15 – 0.20
Bueno: 0.20 – 0.69
Muy Bueno: 0.7 – 0.95
Excelente: 0.95 – 1
Límite de elementos: 512 000 elementos o nodos, lo que ocurra primero

- Configuración de Malla

Se realiza el mallado, tratando de que el número de elementos sea menor al permitido y los promedios de las métricas estén dentro de los rangos válidos procurando la excelencia (0.95 – 1 – 1.05). Suponiendo que la métrica del mallado no es efectiva después de las combinatorias necesarias, en tal motivo, se estudia la inserción de mallas locales como se

observa en la Figura 60, que implica localizar puntos, caras o cuerpos de interés específicos del mallado, es decir zonificar elementos de interés.

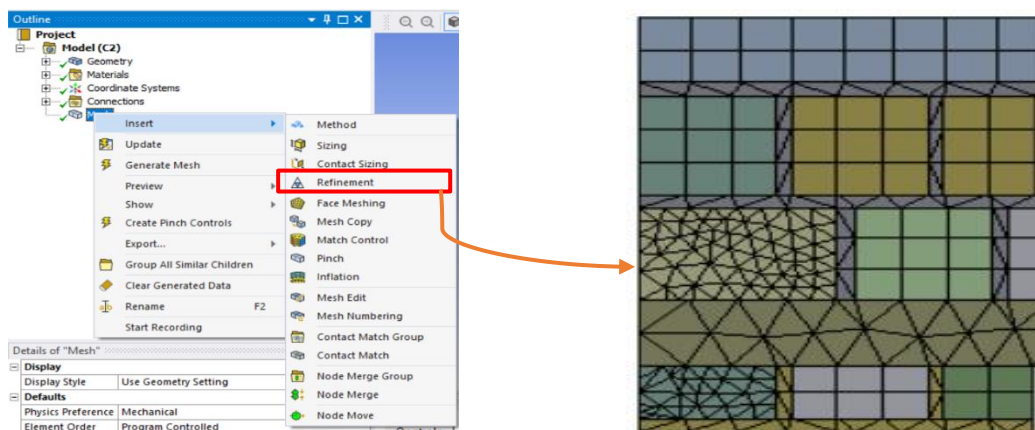


Figura 60. Interfaz para el refinamiento de malla local

Las opciones a tomar en cuenta en esta sección son las siguientes:

- **Method:** Realiza la diferencia entre Tetraedros (curvaturas complejas) y Hexaedros (figuras planas), estos actúan sobre el dimensionamiento de vértices, caras, aristas y cuerpo.
- **Sizing:** Se puede seleccionar cuerpo completo, cara y sobre eso un tamaño de elemento, es un método local en el cual se enfoca en un elemento para modificar su tamaño.
- **Face Meshing:** Para elementos simétricos, en la actualidad ya no se usa debido a las capacidades computacionales avanzadas.
- **Refinement:** se recomienda en lugar del “body sizing”
 - Nivel 1: malla gruesa
 - Nivel 2: malla media
 - Nivel 3: malla fina

Siendo el refinamiento el método más común se observa en la Figura 61 como las mallas de diferentes elementos convergen en sus nodos utilizando este método que acomoda de mejor forma cuando se tienen geometrías irregulares.

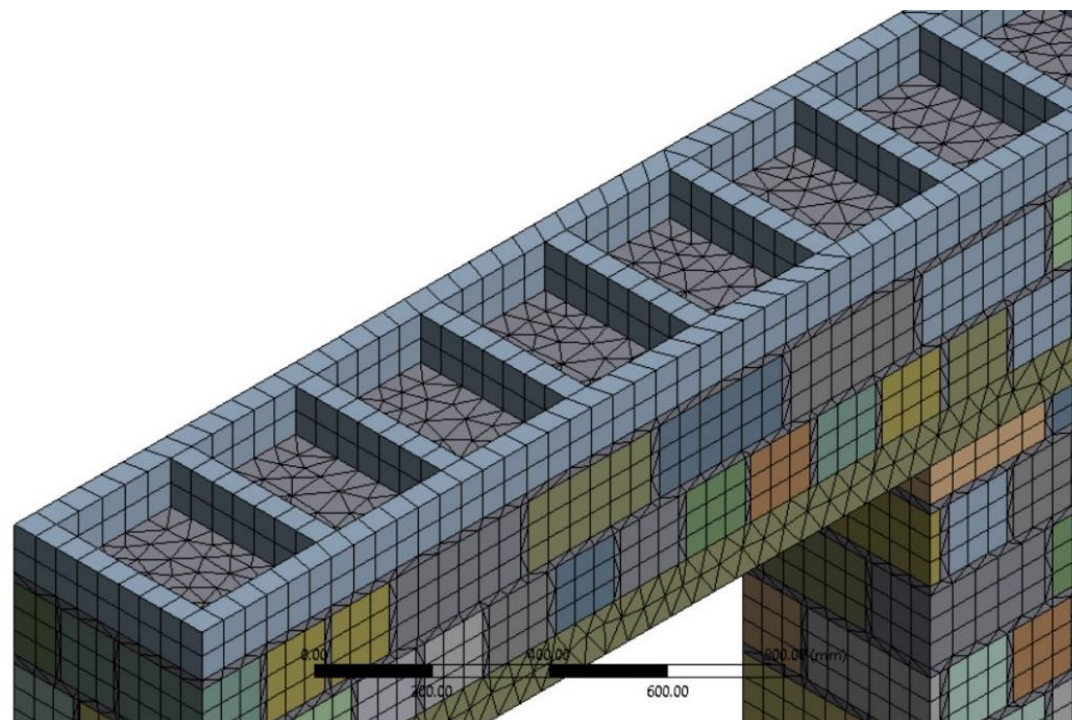


Figura 61. Mallado final de un elemento usando métodos de refinamiento

d. Análisis Estructural

Finalmente, luego de haber obtenido el modelo mallado y que su métrica tenga valores que estén cercanos o dentro del rango calificado como Excelente, indicado en la Tabla 14, se puede proceder a realizar el análisis estructural por medio de la opción “Static Structural” la cual se compone como se indica en la Figura 62, en donde se resumen todo el proceso realizado en toda la simulación numérica que incluye la geometría, materiales, sistemas de coordenadas, conexiones y mallado, en caso de que en alguno de estos subprocesos haya ocurrido algún error que no permita el correcto funcionamiento del programa, la interfaz mostrará en donde se está cometiendo el error obligando a que el usuario realice correcciones. Este análisis se hace de acuerdo a los requerimientos de los usuarios del software, en esta sección se ingresan las cargas que actúan en los modelos, tanto externas como propias del modelo, además se pueden realizar combinaciones de diferentes cargas para su posterior análisis. Es importante determinar los lugares en donde actúan las cargas externas para que el proceso sea lo más cercano a la realidad, estos lugares pueden ser nodos, bordes, caras y cuerpos, además se debe ingresar la aceleración de la gravedad de la zona y las zonas de la geometría que se mantendrán fijas en el momento de la aplicación de las cargas.

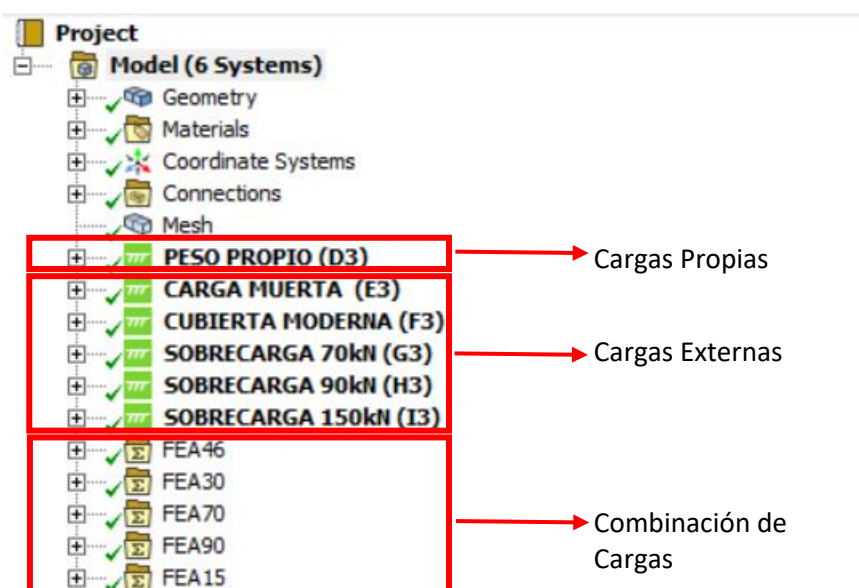


Figura 62. Interfaz de sección Static Structural

5.3. Definición y calibración de los modelos de estudio

Para analizar el comportamiento estructural de fachadas de adobe lo que se hace es ir escalando a partir de un elemento que compone dicha estructura es decir un bloque de adobe hasta llegar al modelo final, esto con el objetivo de calibrar correctamente las características de los materiales y encontrar el camino más óptimo que permita un mallado y análisis con resultados válidos para un posterior análisis. Por lo tanto, usando el software de elementos finitos se realizan las simulaciones de los ensayos de las características mecánicas de adobes, detallado en el capítulo 3, luego se van comparando los resultados del programa y los obtenidos en laboratorio ya que luego estos se utilizarán en la calibración de las fachadas.

5.3.1. Ensayo a compresión de bloques adobes

En este caso se modela un bloque individual de adobe mediante herramientas CAD 3D y se simula bajo las mismas condiciones que se realizó el ensayo en laboratorio las principales dimensiones se observan en la Tabla 16.

Tabla 16. Características de los bloques de adobe para el ensayo a compresión

Ancho	20 cm
Largo	40 cm
Alto	18 cm
Módulo de Elasticidad	59.79 MPa
Relación de Poisson	0.15
Carga última	97432 N

Siguiendo el proceso de la sección 5.2. se obtienen los siguientes resultados de Esfuerzo Equivalente el cual se puede observar en la figura 63.

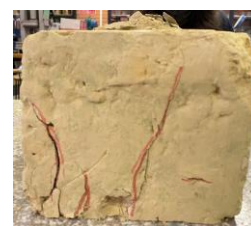
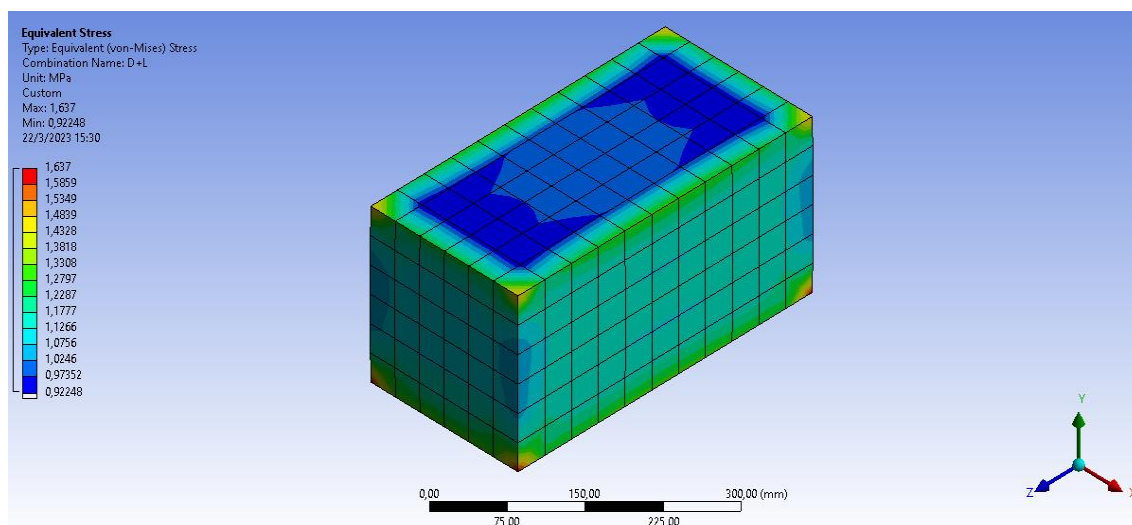


Figura 63. a). Resultado de ensayo a compresión de bloques de adobe en la simulación numérica; b)., c). y d). Resultados de ensayo a compresión de bloques de adobe en laboratorio

Al comparar los resultados obtenidos tanto en el software (ver Figura 63. a.) como en laboratorio (ver Figura 63. b)., c). y d.) se observan los esfuerzos máximos que se presentan como fisuras tanto en los bordes superiores como inferiores, así como en las esquinas en donde se observan desprendimientos de material, esto se presenta con colores que indican los valores máximos. Los valores que arroja el programa luego de realizar la simulación junto con los resultados obtenidos en laboratorio se presentan en la Figura 64 en donde se realizan sus respectivas comparaciones. Se observa que las deformaciones obtenidas en la simulación son cercanas a las obtenidas en laboratorio pero en contraste los esfuerzos son mayores, esto se puede dar ya que al ingresar las propiedades de los materiales estas fueron de acorde a lo realizado en laboratorio, es decir, para acercarse más a la realidad se necesita de un mayor detalle de datos y características del material los cuales necesitarían de un amplio estudio de materiales, pero el objetivo de este trabajo es calibrar conforme crezcan las dimensiones de elementos y ensayos.

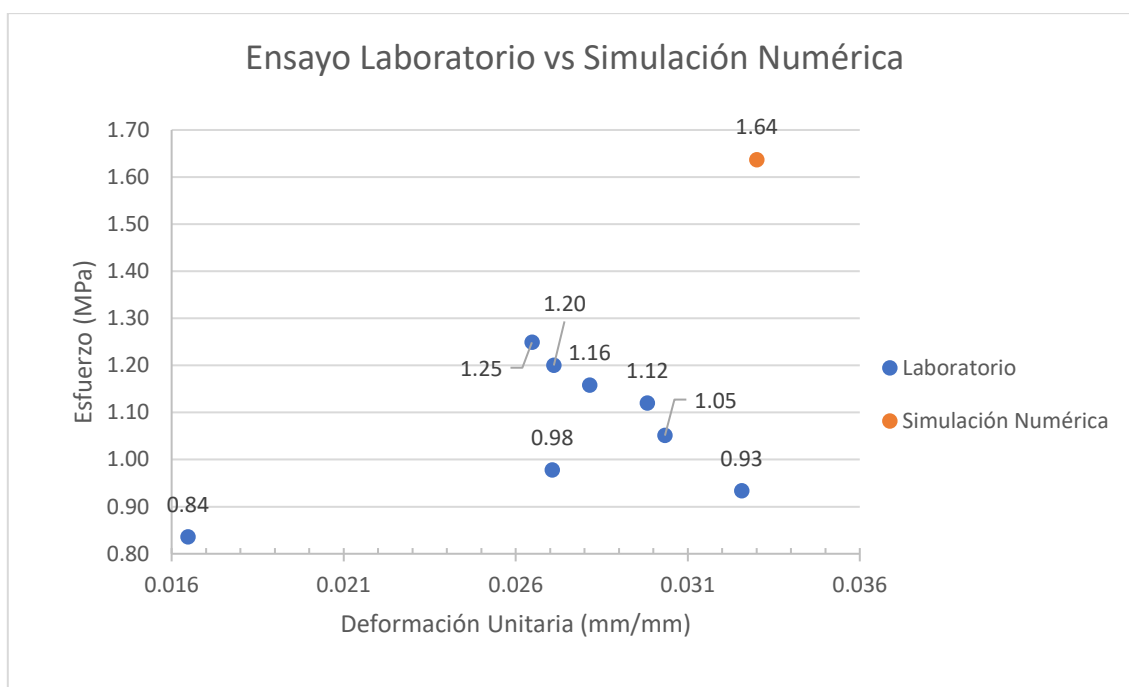


Figura 64. Datos de Laboratorio vs Simulación Numérica Compresión

Finalmente se ha comparado con el esfuerzo mayor del grupo de muestras el cual muestra los resultados detallados en la Tabla 17.

Tabla 17. Comparación de resultados de ensayo a compresión de bloques de adobe

	Laboratorio	Software	% Error
Deformación (mm/mm)	0.033	0.029	11.9
Esfuerzo (MPa)	1.249	1.637	30.1

En la columna 4 de la Tabla 17 se indican valores del porcentaje de error que existe entre la simulación los cuales son los más cercanos con respecto a los obtenidos en laboratorio por lo que se dan como válidos los resultados para continuar con el siguiente análisis.

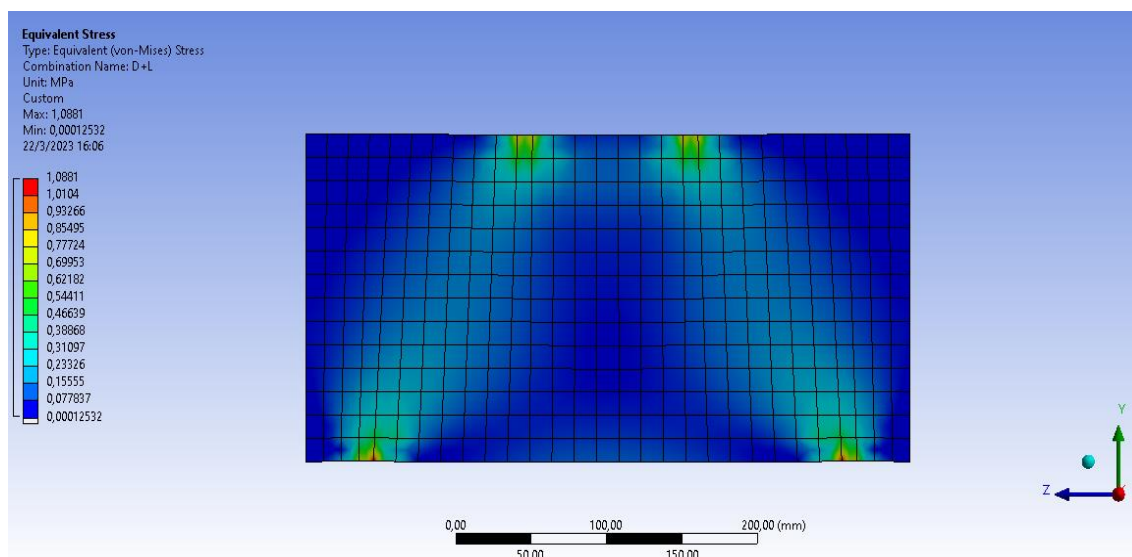
5.3.2. Ensayo a flexión de bloques de adobes

De la misma forma se analiza un bloque de adobe a flexión en cuatro puntos como se detalló en el capítulo 3, el modo en el que se realiza este ensayo a través de la simulación busca tener las condiciones lo más cercanas a las que se aplicaron en laboratorio con el objetivo que los resultados encontrados tengan cercanía y se pueda hacer una comparación que ayude a calibrar el programa para los ensayos siguientes. En cuanto a las características se van a utilizar las mismas que se usaron en la primera simulación esto con el motivo de ir calibrando los datos de los materiales con mayor seguridad, lo que se cambia es la carga a una equivalente a la que se usó en laboratorio esto se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Características de los bloques de adobe para el ensayo a flexión

Ancho	20 cm
Largo	40 cm
Alto	18 cm
Carga última	5000 N

De la misma forma que el ensayo a compresión mediante la simulación se debe considerar las áreas de aplicación de las cargas y que el mallado tenga una buena calidad para obtener buenos resultados, en la Figura 65. a). se observan los resultados del esfuerzo equivalente que actúa en el bloque bajo las condiciones antes descritas. Se puede observar cómo los esfuerzos actúan a través de la línea de acción de los puntos de carga en consecuencia se empiezan formando fisuras diagonales que unen dichos puntos de aplicación de carga, por lo que a mayor aplicación de cargas verticales sobre la superficie del bloque podrían conducir a que fallen los bloques de adobe (ver Figura 65. b). y c.).



a)



b)



c)

Figura 65. a). Resultado de ensayo a flexión de bloques de adobe en la simulación numérica; b). y c). Resultados de ensayo a flexión de bloques de adobe en laboratorio

Al realizar la comparación entre el modelo realizado en laboratorio y la simulación mediante elementos finitos se puede observar en la Figura 66 como se grafican estos datos con respecto a los obtenidos en la simulación los cuales son cercanos entre sí a excepción de un valor que se encuentra por encima de los demás.

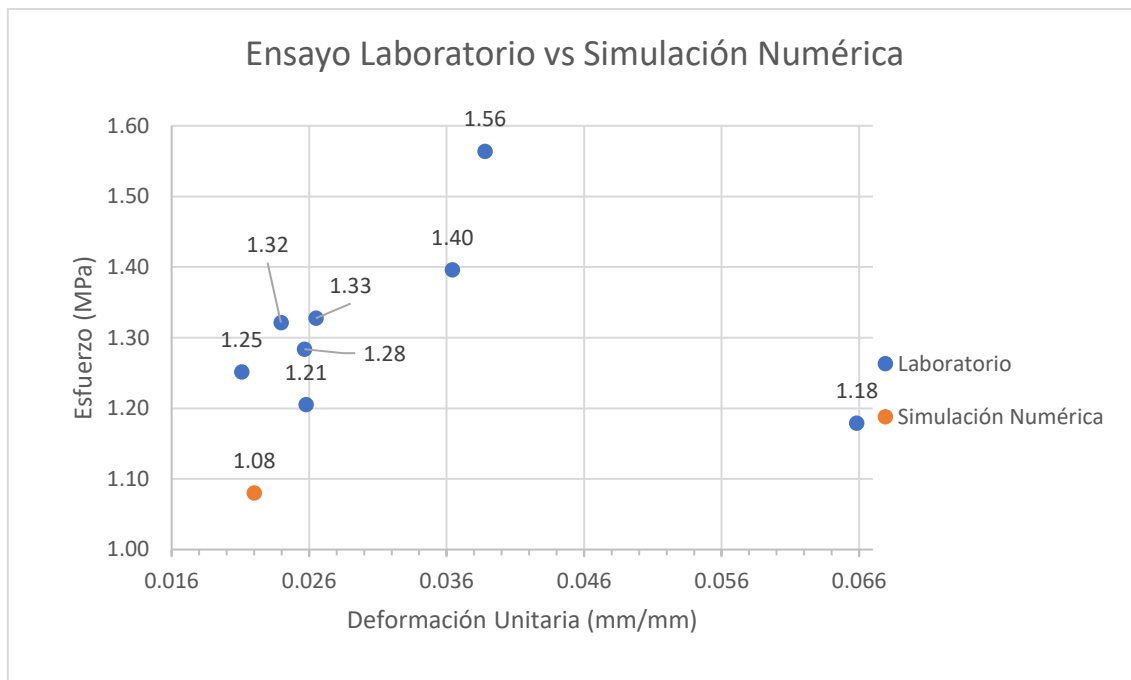


Figura 66. Datos de Laboratorio vs Simulación Numérica Flexión

En la Tabla 19 se comparan los errores entre los promedios de ambos lotes de muestras y el resultado obtenido en el software, como se observa el error disminuye con respecto al ensayo de compresión por lo que se dan como validos ya que para disminuirlo se necesitan más características físicas, mecánicas, termodinámicas, etc.

Tabla 19. Comparación de resultados de ensayo a flexión de bloques de adobe

	Lab. Lote 1	Lab. Lote 2	Software	% Error
Deformación (mm/mm)	0.028	0.023	0.022	15.9
Esfuerzo (MPa)	1.32	1.21	1.09	16.0

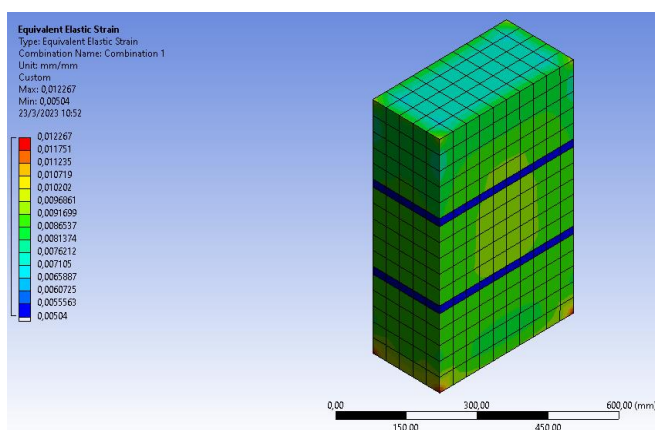
5.3.3. Ensayo a compresión de muretes

Usando las mismas dimensiones de cada adobe que se realizaron en los anteriores ensayos se arma un murete vertical conformado por tres adobes unidos con mortero compuesto con la misma tierra, pero con diferentes capacidades mecánicas, sus dimensiones y propiedades se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20. Características de los elementos del murete para el ensayo a compresión

Características	Murete	Mortero
Ancho	20 cm	
Largo	40 cm	
Alto	56 cm	
Módulo de Elasticidad (E)	59.79 MPa	84.71 MPa
Relación de Poisson	0.15	0.30
Carga última	40840 N	

El modelo es sometido a las mismas cargas que se realizan en laboratorio además se trata de que tengan las condiciones del entorno muy parecidas.



a)



b)

Figura 67. a). Resultado de ensayo a compresión de murete en la simulación; b). Resultado de ensayo a compresión de murete en laboratorio

En la Figura 67. a). se presenta la simulación en la cual se observa que las zonas críticas son las esquinas tanto superiores como inferiores y los bordes de los adobes en donde se observan fisuras y desprendimientos de material, esto comparado con el ensayo realizado en laboratorio (ver Figura 67. b).) se puede comprobar que los daños en el murete son similares, presentando fallas en zonas cercanas a las que muestra la simulación.

Gráficamente se observan similitudes entre el ensayo y la simulación, comparando los valores tanto de esfuerzos como deformaciones como se indica la Tabla 21 los resultados se dan como válidos ya que son muy cercanos especialmente en el dato del esfuerzo el cual muestra un error de 0.76 %, las diferencias que se observan en los datos de deformación pueden darse posiblemente con la dificultad que existe cuando se realiza el ensayo en laboratorio ya que su manipulación se torna complicada por el peso que estos muretes conllevan además del

extremo cuidado que se debe tener al movilizar el elemento ya que puede presentar fallas sin antes haber sido sometido a ninguna carga en la máquina de compresión.

Tabla 21. Comparación de resultados de ensayo a compresión de murete

	Laboratorio	Software	% Error
Deformación (mm/mm)	0.018	0.012	32.9
Esfuerzo (MPa)	0.69	0.70	0.76

5.3.4. Ensayo de compresión diagonal de muretes

De la misma forma en la que se construyeron los muretes para el ensayo a compresión se forma el murete para este ensayo, conformado por tres filas que constan de un adobe y la mitad de otro, tal que cumpla con las dimensiones que requiere la máquina a compresión. Las dimensiones se resumen en la Tabla 22.

Tabla 22. Características de los elementos del murete para el ensayo a compresión diagonal

Características	Murete	Mortero
Ancho	20cm	
Largo	57cm	
Alto	58cm	
Diagonal	81cm	
Módulo de Elasticidad (E)	59.79 MPa	84.71 MPa
Relación de Poisson	0.15	0.30
Carga última	65180 N	

Realizando la simulación se puede observar que los daños en el murete se dan en las esquinas superiores e inferiores (ver Figura 68. a.) en donde existen contactos directos con la aplicación de la carga y además se puede ver que las deformaciones recorren la diagonal del murete distribuyéndose por las juntas o el mortero presentando fisuras que provocan la separación de los bloques esto se puede observar en la Figura 68. b.), en donde además se observa en la parte derecha la utilidad de los soportes de madera contruidos con el objetivo de retener el desprendimiento de los bloques de adobe hacia afuera de la máquina que realiza el ensayo. Es importante recalcar esto por la dificultad en la realización de este ensayo ya que no todos los laboratorios cuentan con la maquinaria necesaria para este tipo de pruebas.

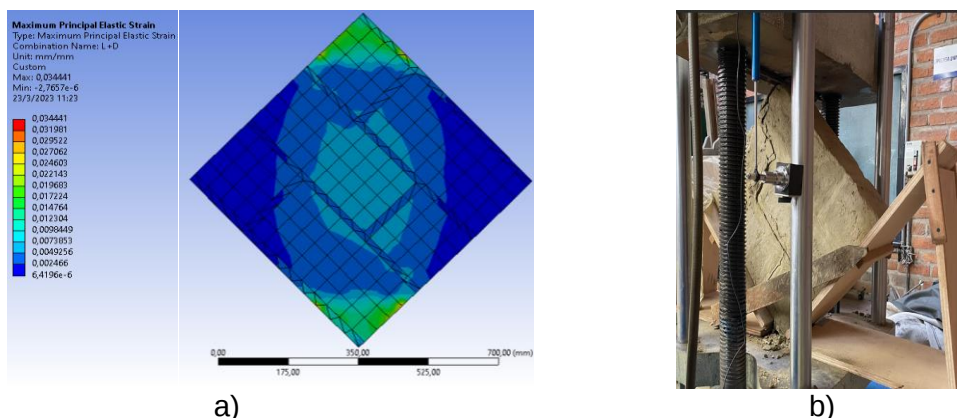


Figura 68. a). Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete en la simulación; b). Resultado de ensayo a compresión diagonal de murete en laboratorio

Comparando los resultados, el ensayo realizado en laboratorio se observa que en efecto los mayores daños se dan en las esquinas que unen la diagonal del murete y recorre por el mortero provocando que se desprendan los bloques y se divida el murete. Los valores obtenidos se observan en la Tabla 23, esta indica que los resultados son cercanos en caso de los esfuerzos dando un error de 1.1 % que se podría considerar como despreciable, sin embargo, la deformación de este caso varía con un gran porcentaje y esto puede ser por el mismo problema del murete a compresión ya que incluso aumentando su tamaño y peso se torna más difícil su experimentación y manejo hacia las máquinas de compresión, pero calibrados los anteriores modelos que disminuye el error se los considera como válidos para el siguiente estudio ya de fachadas completas.

Tabla 23. Comparación de resultados de ensayo a compresión diagonal de murete

	Laboratorio	Software	% Error
Deformación (mm/mm)	0,026	0,034	30.7
Esfuerzo (MPa)	5,576	5,515	1.1

5.4. Capacidad de carga de los muros de adobe para diferentes configuraciones geométricas

Finalmente, después de haber calibrado el programa con los anteriores ensayos se tienen definidas las características de los materiales que se utilizan en la elaboración de los muros de adobe que se van a simular mediante elementos finitos. Se tuvieron tres configuraciones principales de las fachadas.

- **Fachada Actual:** Se utiliza la geometría que actualmente tiene esta casa patrimonial tratando de conservar las mismas condiciones tanto en dimensiones como en cargas.
- **Fachada con Garaje:** Como se mencionaba anteriormente, suponiendo que esta casa requiera de modificaciones para usos comerciales poniendo como cambio principal la

incorporación de una entrada para vehículos, esto se refleja en el modelo realizado en formato CAD.

- **Fachada Norma:** Revisando las dimensiones de la fachada actual se considera que si la geometría tuviera ciertas modificaciones que recomiendan las normas es posible que el comportamiento estructural sea más adecuado y tenga menos efectos negativos ante las cargas, por esta razón se construye un modelo que cumpla con dichas recomendaciones en cuestión de dimensiones.

Adicionalmente se consideran 4 tipos de vigas collar sobre cada uno de los muros de adobe, estas son: fachada sin viga collar, fachada con viga collar, fachada con escalera, fachada con tablón.

Además, se consideran 5 tipos de cargas para cada configuración, estas son diferentes tipos de cargas para observar y analizar el comportamiento de las estructuras, en total se analizan 60 modelos los cuales se modelan y simulan a través de un programa de elementos finitos, el análisis es netamente micro modelo, ya que se consideran todos los elementos e interacciones entre ellos.

5.4.1. Fachada Actual

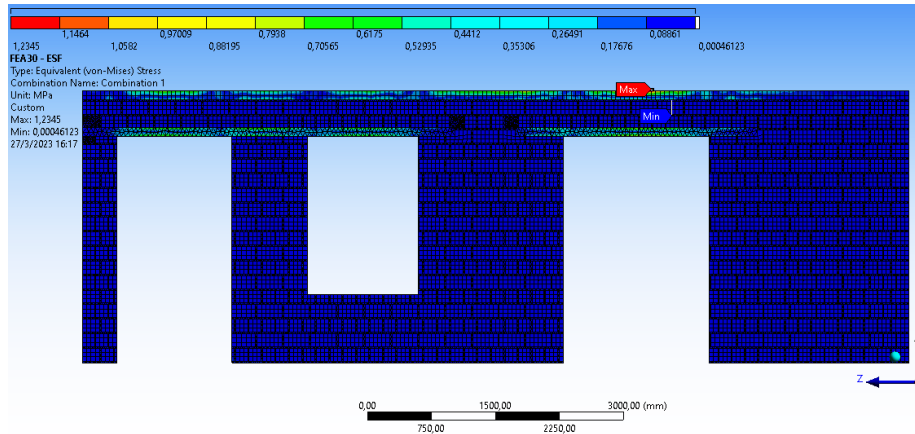
En la fachada actual se observa según los datos extraídos del software que al usar la viga y el tablón los valores no son muy distantes ya que se obtienen deformaciones y esfuerzos pequeños.

Al usar la escalera sobre la fachada se puede observar que se mantienen los valores de deformaciones, pero aumentan los esfuerzos que como se observan en la Figura 69. a). estos se distribuyen a lo largo de la escalera y llegan a su máximo en el centro del vano de la puerta más grande.

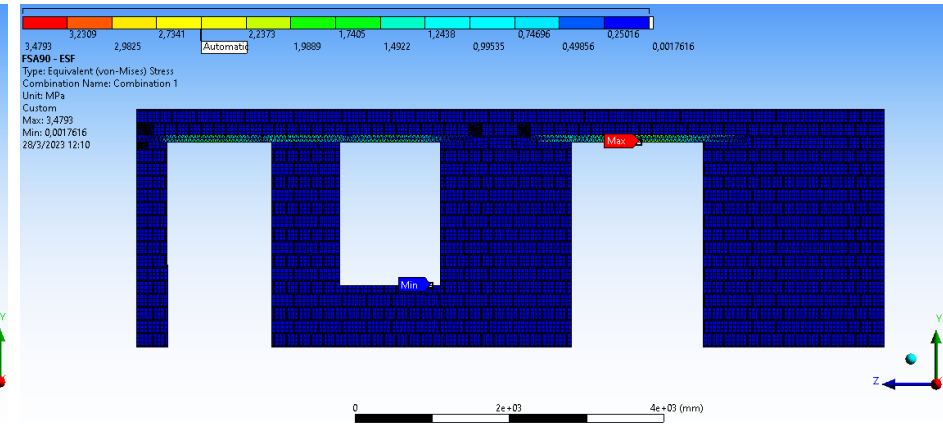
Se puede observar también que cuando no se coloca una viga en la parte superior de la fachada las deformaciones son considerables esto se podría explicar que las cargas no se distribuyen uniformemente y buscan los puntos más críticos que en estos casos son los vanos (ver Figura 69. b).) ubicándose su máximo en el centro del vano de la puerta más grande.

En cuanto a deformaciones sus máximos se ubican en puntos similares, aunque con diferentes intensidades, además las fachadas con viga collar presentan fisuras en las esquinas inferiores de las ventanas esto se puede observar en la Figura 69. c).

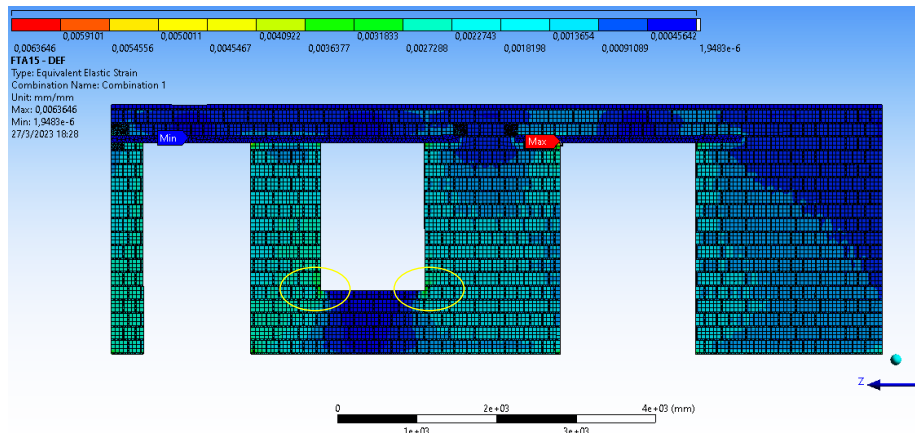
La fachada que no tiene viga collar presenta fisuras más intensas en las esquinas de los vanos de las puertas, ventanas presentando deformaciones verticales considerables sobre los vanos de puertas como se observa en la Figura 69. d).



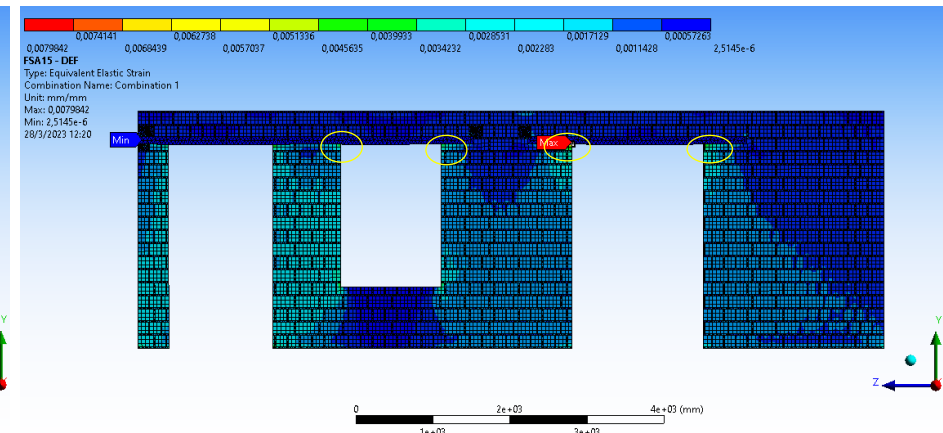
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 69. a). Esfuerzos en Fachada Actual con Escalera; b). Esfuerzos en Fachada Actual Sin Viga; c). Deformaciones en Fachada Actual con Tablón; d). Deformaciones en Fachada Actual Sin Viga

Además, se resumen los resultados de esfuerzos y deformaciones máximas utilizando las diferentes cargas. Esto se puede observar en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados de simulación de fachada actual

FACHADA ACTUAL				
	CARGA (N)	Código	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
SIN VIGA COLLAR	30000	FSA 30	1.65	0.003
	46800	FSA 46	2.16	0.003
	70000	FSA 70	2.87	0.004
	90000	FSA 90	3.48	0.005
	150000	FSA 15	5.31	0.008
VIGA	30000	FVA 30	0.94	0.003
	46800	FVA 46	1.23	0.003
	70000	FVA 70	1.62	0.003
	90000	FVA 90	1.96	0.004
	150000	FVA 15	2.97	0.006
TABLON	30000	FTA 30	0.97	0.003
	46800	FTA 46	1.25	0.003
	70000	FTA 70	1.65	0.004
	90000	FTA 90	1.99	0.004
	150000	FTA 15	3.02	0.006
ESCALERA	30000	FEA 30	1.23	0.003
	46800	FEA 46	1.61	0.003
	70000	FEA 70	2.12	0.004
	90000	FEA 90	2.57	0.004
	150000	FEA 15	3.90	0.006

Gráficamente, el comportamiento de acuerdo al tipo de viga collar utilizada se puede observar en la Figura 70 y 71 en donde se muestran los resultados de esfuerzos y deformaciones respectivamente en la fachada actual.

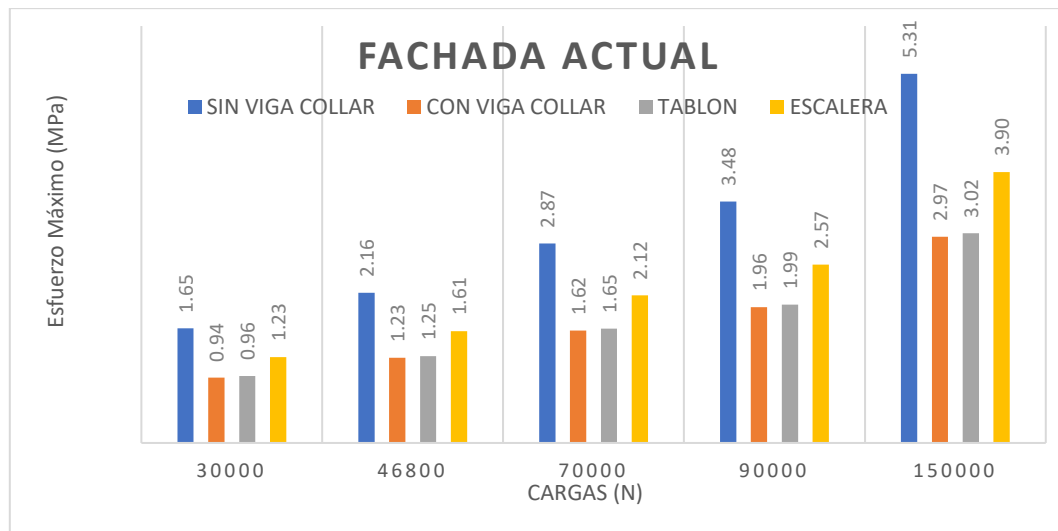


Figura 70. Esfuerzo Máximo de Fachada Actual

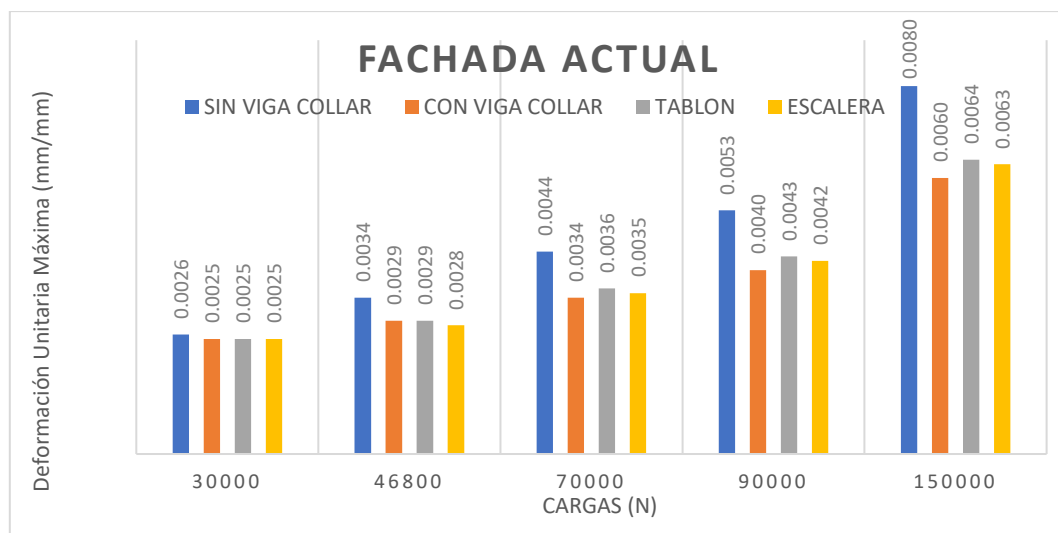
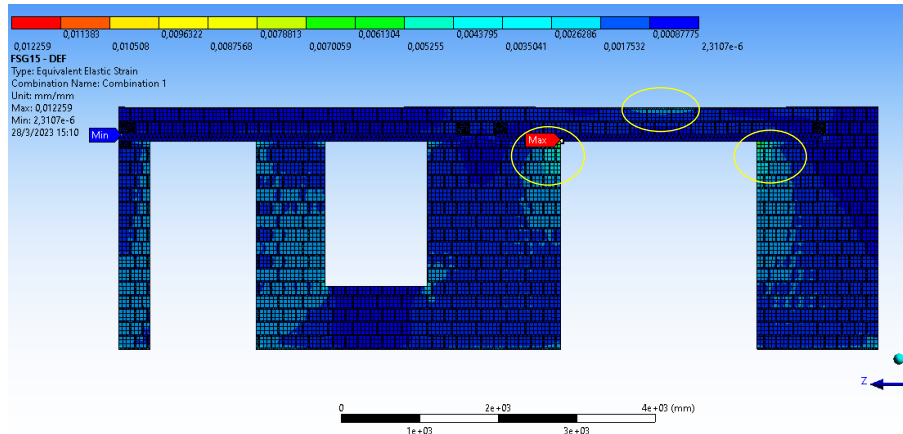


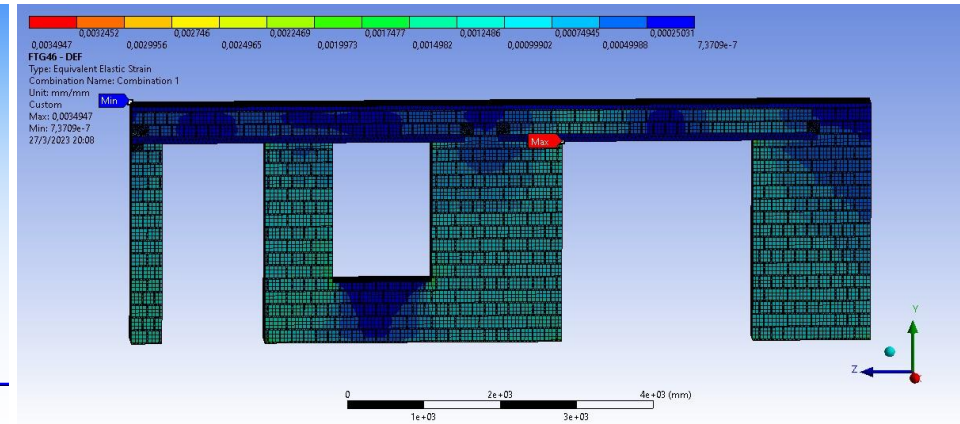
Figura 71. Deformación Máxima de Fachada Actual

5.4.2. Fachada Garaje

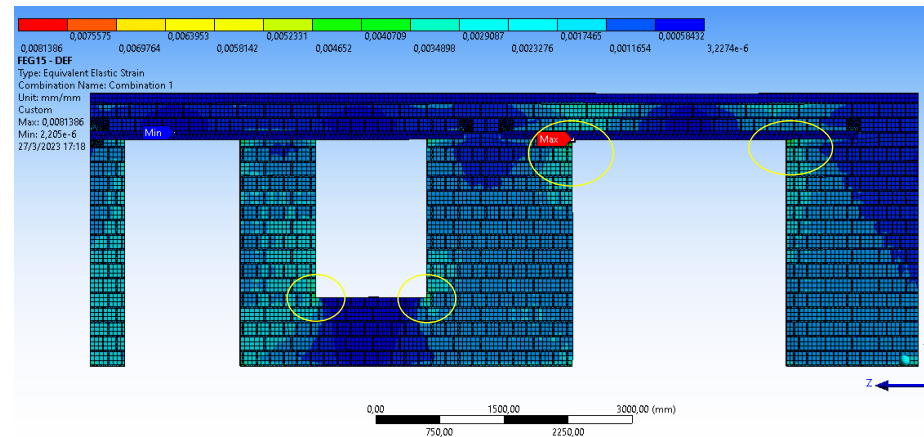
En la fachada configurada para que exista una entrada de vehículos hacia las propiedades se puede observar una gran diferencia con respecto a la fachada actual ya que las deformaciones son mucho mayores por el hecho de tener vanos más grandes, en este caso las deformaciones más considerables son de la fachada que no tiene viga superior, es decir cuando las cargas se asienten directamente sobre las hiladas de adobe esto se observa en la Figura 72. a). dichas deformaciones se van ubicándose en zonas críticas como las esquinas superiores de los vanos de la entrada de vehículos, así como en los centros de los dinteles de los mismos.



(a)



(b)



(c)

Figura 72. a). Deformaciones en Fachada de Garaje sin Viga Collar; b). Deformaciones en Fachada de Garaje con Viga Tablón; c). Deformaciones en Fachada de Garaje con Escalera

UCUENCA

La fachada con menores deformaciones es aquella que tiene la viga tablón encima esto se presenta en la Figura 72. b). a pesar de eso siguen siendo muy altas con respecto a las de la fachada actual.

Observando los esfuerzos estos se presentan en el vano de la entrada de vehículos la cual sufre deformaciones que con el aumento de cargas son más notorias, así como en las esquinas del vano y también se pueden observar fisuras que se muestran con mayor frecuencia en la parte inferior de las ventanas cuando las cargas son bajas y a medida que las cargas aumentan se presentan en los dinteles tal como lo indica la Figura 72. c).

Además, se resumen los resultados de esfuerzos y deformaciones máximas utilizando diferentes cargas. Esto se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de simulación de Fachada Garaje

FACHADA GARAJE				
	CARGA (N)	Código	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
SIN VIGA COLLAR	30000	FSG 30	2.76	0.004
	46800	FSG 46	3.60	0.005
	70000	FSG 70	4.76	0.007
	90000	FSG 90	5.76	0.008
	150000	FSG 15	8.76	0.012
VIGA	30000	FVG 30	1.69	0.003
	46800	FVG 46	2.18	0.003
	70000	FVG 70	2.87	0.004
	90000	FVG 90	3.46	0.005
	150000	FVG 15	5.24	0.008
TABLON	30000	FTG 30	1.33	0.003
	46800	FTG 46	1.72	0.004
	70000	FTG 70	2.27	0.005
	90000	FTG 90	2.73	0.005
	150000	FTG 15	4.13	0.008
ESCALERA	30000	FEG 30	2.26	0.003
	46800	FEG 46	2.93	0.004
	70000	FEG 70	3.85	0.005
	90000	FEG 90	4.65	0.005
	150000	FEG 15	7.04	0.008

Gráficamente, el comportamiento de acuerdo al tipo de viga collar utilizada se puede observar en las Figuras 73 y 74 en donde se muestran los resultados de esfuerzos y deformaciones respectivamente en la fachada adecuada para garaje.

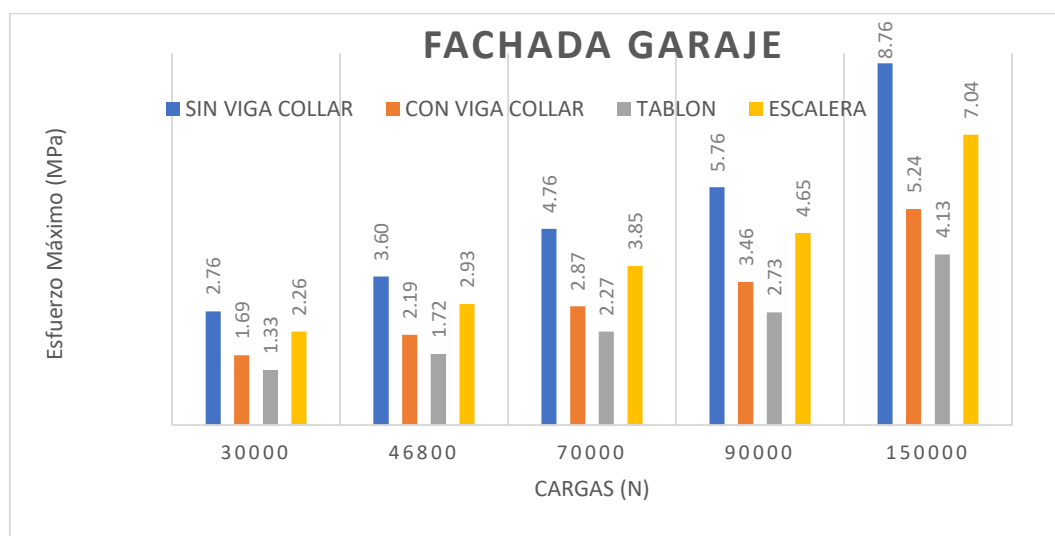


Figura 73. Esfuerzo Máximo de Fachada Garaje

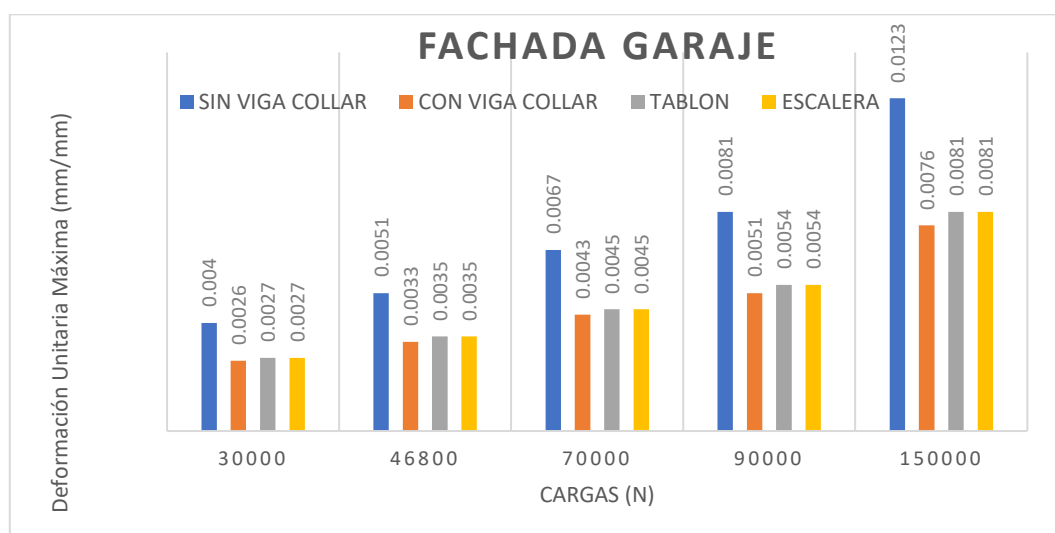


Figura 74. Deformación Máxima de Fachada Garaje

5.4.3. Fachada Norma

En la fachada que cumple con las dimensiones recomendadas por la norma E.080 se observa que sus deformaciones independientemente de la viga que se coloque o no se coloque no tiene diferencias considerables entre ellas, y además comparando con los dos modelos anteriores se observan incluso esfuerzos altos con deformaciones muy bajas esto gracias al cumplimiento de la normativa. Aunque se cumplan las recomendaciones el adobe es un material el cual se debe tener mucho cuidado en su tratamiento para construcciones siempre se van a presentar pequeñas fisuras debido a la naturalidad del material, la idea de la norma es reducir al máximo las deformaciones y brindar una construcción segura.

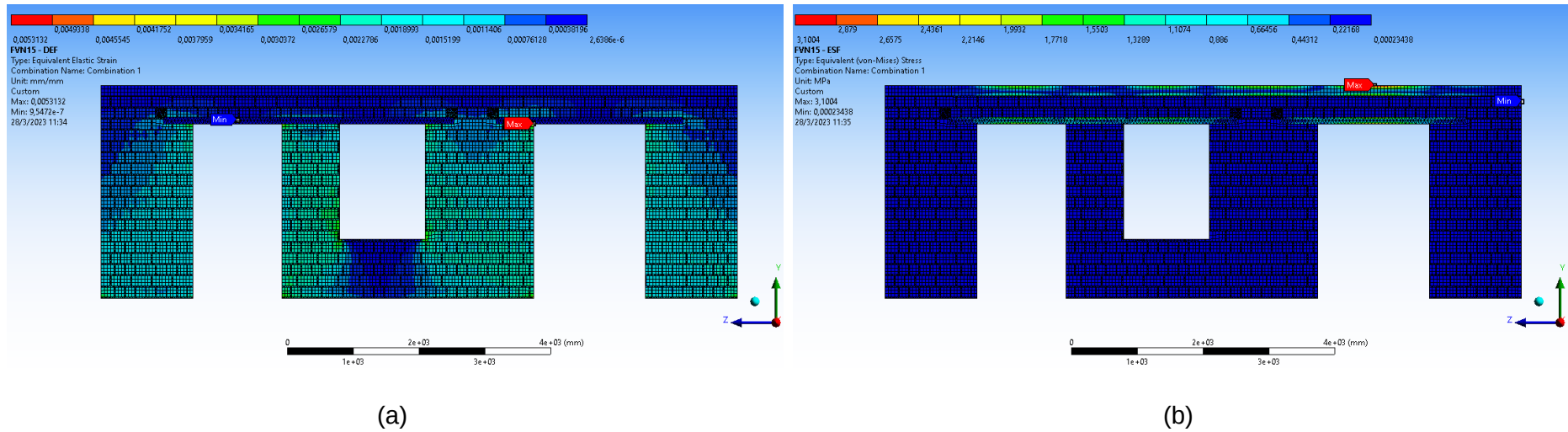


Figura 75. a). Deformaciones en Fachada Norma con Viga Anillo b. Esfuerzos en Fachada Norma con Viga Anillo

En la figura 75. a). y b). se observa tanto las deformaciones y esfuerzos máximos en la fachada con viga collar, en los puntos críticos que son las esquinas de los vanos presentando colores no tan intensos como los anteriores modelos.

En la tabla 26 se resumen los resultados de esfuerzos y deformaciones máximas.

Tabla 26. Resultados de simulación de Fachada Norma

FACHADA NORMA				
	CARGA (N)	Código	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
SIN VIGA COLLAR	30000	FSN 30	1.68	0.003
	46800	FSN 46	2.20	0.003
	70000	FSN 70	2.92	0.004
	90000	FSN 90	3.54	0.005
	150000	FSN 15	5.40	0.007
VIGA	30000	FVN 30	0.99	0.003
	46800	FVN 46	1.29	0.003
	70000	FVN 70	1.69	0.003
	90000	FVN 90	2.05	0.004
	150000	FVN 15	3.10	0.005
TABLON	30000	FTN 30	0.99	0.003
	46800	FTN 46	1.28	0.003
	70000	FTN 70	1.69	0.003
	90000	FTN 90	2.04	0.004
	150000	FTN 15	3.08	0.006
ESCALERA	30000	FEN 30	1.35	0.003
	46800	FEN 46	1.76	0.003
	70000	FEN 70	2.31	0.003
	90000	FEN 90	2.79	0.004
	150000	FEN 15	4.23	0.006

Gráficamente, el comportamiento de acuerdo al tipo de viga collar utilizada se puede observar en las Figuras 76 y 77 en donde se muestran los resultados de esfuerzos y deformaciones respectivamente en la fachada que cumple con las dimensiones de la normativa E.080.

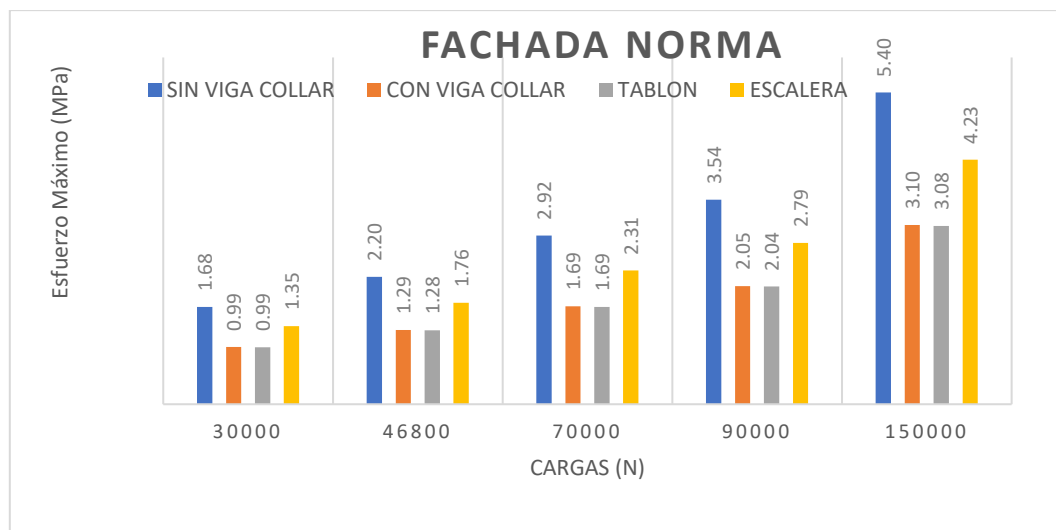


Figura 76. Esfuerzo Máximo de Fachada Norma

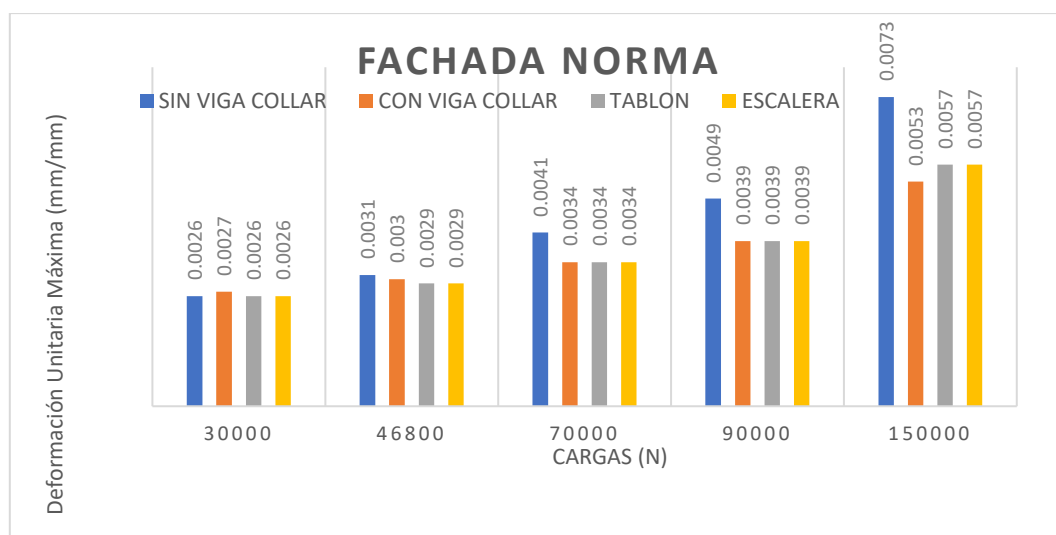


Figura 77. Deformación Máxima de Fachada Norma

5.5. Conclusiones

Al realizar la simulación del ensayo a compresión de un bloque de adobe se han extraído valores de esfuerzo y deformación unitaria obteniendo errores del 30.1 % y de 11.9 % en cada ensayo respectivamente, gráficamente el comportamiento es muy similar observándose fisuras y desprendimientos de material en zonas marcadas como críticas en la simulación sin embargo cuantitativamente se observan errores considerables sobre todo en el esfuerzo esto puede darse por una razón y es el tipo de material con el que se trabaja específicamente con la propiedad del módulo de elasticidad ya que al ser no lineal varía incluso con las demás muestras realizadas en laboratorio, por esta razón para los modelos finales se calibrarán estos datos para obtener mejores resultados.

En la simulación del ensayo a flexión de igual manera se obtienen los valores de esfuerzo y deformación unitaria con errores de 15.9 % y 16 % de error, respectivamente. Estos valores

UCUENCA

son muy cercanos a los de laboratorio, sin embargo, influyen características como el módulo de elasticidad además de la necesidad de más características físicas, mecánicas e incluso termodinámicas.

Las simulaciones de los muretes tanto el de murete a compresión como compresión diagonal indican errores de 0.76 % y 1.1 % respectivamente, cuando se comparan sus esfuerzos, se muestra que a medida que se calibran los materiales los resultados son más cercanos a los que se obtienen en laboratorio.

Ya en el análisis del comportamiento estructural de las diferentes configuraciones para las fachadas se ha observado que la Fachada actual muestra mayores desventajas cuando no se ha colocado la viga collar sobre el muro ya que existen esfuerzos altos de hasta 5.31 MPa con grandes deformaciones, con esto se comprueba lo que se establece en estructuras ya que la viga es un elemento de importancia que permite distribuir las cargas de manera uniforme. En este caso la viga con mayores beneficios es la que tiene forma de escalera presentando grandes esfuerzos en el elemento de madera manteniendo las deformaciones bajas.

Cuando se analiza la fachada modificada para entrada de vehículos al tener vanos más grandes las deformaciones por ende crecen también y son notorias en los centros de los mismos, estas son peores cuando no se coloca viga collar en donde se muestran esfuerzos de hasta 8.76 MPa con deformaciones unitaria de 0.012 mm/mm, por esto es necesario ubicar una viga en forma de tablón que de la misma forma que en la fachada actual esta ayuda a distribuir de mejor forma los esfuerzos provocando una mejor distribución de estos.

Finalmente analizando la fachada que cumple con las dimensiones recomendadas por la norma E.080 se puede observar que independientemente de la viga que se coloque ya sea rectangular, tablón o escalera, todas tienen esfuerzos cercanos entre sí, aunque semejantes a los de la fachada actual, además las deformaciones son muy parecidas variando entre 0.005 mm/mm a 0.007 mm/mm provocando los mismos efectos en el comportamiento estructural de la fachada.

Por esta razón es importante analizar no únicamente una fachada o un elemento, sino que a través de la variación de parámetros hacer un estudio más minucioso acerca del comportamiento estructural de estas fachadas, ya que de esta manera se podrán mitigar de mejor forma los daños provocados por las cargas propias de las estructuras y por las modificaciones geométrica que se dan actualmente para diferentes usos antes descritos. Además, es necesario recalcar la necesidad de determinar el comportamiento físico y mecánico de los elementos que componen estas fachadas ya que al trabajar con micro – modelos la metodología exige datos extensos.

Capítulo 6: Conclusiones y líneas de investigación**6.1. Conclusiones**

La construcción con tierra es una técnica tradicional, accesible y económica, pero hoy en día puede parecer obsoleta dado el papel de la industrialización. Por este motivo es importante y necesario realizar investigaciones para que la sociedad se informe y tenga conocimiento de las ventajas que se obtienen al construir con tierra, como es la creciente necesidad global de reducir las emisiones de carbono y utilizar materiales de manera más eficiente.

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque de conocer el desempeño y la capacidad estructural de muros de adobe con diferentes configuraciones geométricas, mediante análisis paramétrico. Lo que llevó a realizar una caracterización tanto física como mecánica del adobe. Esto permite utilizar los resultados en la simulación numérica para configurar y calibrar el software con datos como: densidad, coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad, esfuerzos últimos de compresión y tensión, entre los más importantes. Obviamente estos datos se van calibrando hasta que los ensayos de laboratorio y la simulación tengan comportamientos similares.

Para los ensayos realizados en esta investigación se siguió la Norma E.080, donde se consiguió resultados que cumplen con los valores establecidos por la misma. Se obtuvo 1.25 MPa de esfuerzo a compresión del adobe y 1.22 MPa para el mortero. En cuanto al módulo de elasticidad 58.92 MPa para el adobe y 85.54 MPa para el mortero. Otro parámetro importante es el coeficiente de Poisson que para el adobe se obtuvo 0.15 y 0.30 para el mortero.

Es necesario mencionar lo importante que es el estudio de las diferentes configuraciones geométricas, ya que en el centro histórico de Cuenca se están realizando varios cambios en las fachadas para acomodarse a las necesidades de los usuarios, por esto se tiene fachadas actuales, modificadas para garaje y fachadas con dimensiones recomendadas por la norma. Y finalmente, la viga collar es el parámetro que se analizó. Por lo tanto, se tienen cuatro tipos: viga, escalera, tablón y sin viga collar para tener un punto de partida o de referencia. Todo esto es primordial para comprender y aplicar procesos de intervención que no afecten el comportamiento estructural de la edificación y así la estructura responda de mejor manera ante posibles desastres naturales.

Luego de realizar las simulaciones de los ensayos en el software y comparar sus resultados obteniendo errores del 11.9% y del 16% en las deformaciones unitarias del ensayo a compresión y flexión respectivamente, los datos de materiales se fueron calibrando de manera que para los ensayos en los muretes se obtuvieron errores de 0.76 % y 1.10 % en las esfuerzos tanto para el ensayo a compresión como el ensayo a compresión diagonal,

respectivamente, es decir, los materiales ingresados fueron optimizados de manera que los valores de los ensayos en laboratorio y las simulaciones en software sean cercanos y con estos finalmente simular los diferentes modelos de fachadas para determinar su comportamiento.

Finalmente, luego de un análisis exhaustivo se ha demostrado que la fachada que cumple con las dimensiones recomendadas por la norma E.080 con diferentes tipos de vigas tienen esfuerzos cercanos entre sí, aunque semejantes a los de la fachada actual, además las deformaciones son muy parecidas variando entre 0.005 mm/mm a 0.007 mm/mm provocando los mismos efectos en el comportamiento estructural de la fachada.

Por esta razón es importante analizar no únicamente una fachada o un elemento, sino que a través de la variación de parámetros hacer un estudio más minucioso acerca del comportamiento estructural de estas fachadas, ya que de esta manera se podrán mitigar de mejor forma los daños provocados por las cargas propias de las estructuras y por las modificaciones geométrica que se dan actualmente para diferentes usos antes descritos. Además, es necesario recalcar la necesidad de determinar el comportamiento físico y mecánico de los elementos que componen estas fachadas ya que al trabajar con micro – modelos la metodología exige datos extensos.

6.2. Líneas de investigación futura

- Investigar y modelar un amplio número de muestras de fachadas tomando en cuenta edificaciones de más de una planta para una comparación de comportamientos.
- Modelar fachadas con cargas fuera del plano considerando sus efectos de manera una gráfica para describir los tipos de falla que se presenten.

Referencias

- AIS 610 – EP – 17 (2019). Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada. Colombia. Ministerio de Vivienda.
- ASTM E2392. (2010). Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems. E2392 M-10. Estados Unidos. ASTM International.
- Alejano, L., Bobet, A. (2012). Drucker–Prager Criterion. Rock Mechanics and Rock Engineering. 45. 995-999. 10.1007/s00603-012-0278-2.
- Andina (2015). Cultura documenta la construcción de viviendas tradicionales de Puno. Perú. Recuperado el 12 de febrero de 2023 de <https://andina.pe/agencia/noticia-cultura-documenta-construccion-viviendas-tradicionales-puno-573308.aspx>
- Blondet, M., Villa, G., Brzev, S., Rubiños, Á. (2011). Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial. EERI/IAEE World Hous Encycl 56:13–37
- Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G. et al. (2006) Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. ISET J Earthq Technol 43:75–104
- Campbell, J. (2012). Numerical Model for Nonlinear Analysis of Mansory Walls. Chile. Rheinisch – Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Cárdenas, X., Todisco, L., León, J. (2021). Database with compression and bending tests on unbaked earth specimens and comparisons with international code provisions. Constr Build Mater 276:122232. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122232>
- Cárdenas, X., Todisco, L., León, J., et al. (2021). Geometry and Proportions of Adobe Vernacular Buildings in Cuenca, Ecuador. Int J Archit Herit 1–19. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1879312>
- Cowrie C. (2008). Guanajuato. Historia y Arqueología. México. Arqueología Mexicana
- CRATerre (1990). Construir con tierra, Tomo 1. Colombia. Fondo Rotatorio Editorial
- CRATerre, Carazas W, Rivero O. (2002). Adobe: Guía de construcción parasísmica. Villefontaine: CRATerre. 37 p.
- D’Ayala, D. (1999). Correlation of seismic vulnerability and damages between classes of buildings: Churches and houses. In: Seismic Damage to Masonry Buildings. Balkema, Rotterdam, p 41±58

- Doherty, K., Griffith, MC., Lam, N., Wilson, J. (2002). Displacement-based seismic analysis for out-of-plane bending of unreinforced masonry walls. *Earthq Eng Struct Dyn* 31:833–850. <https://doi.org/10.1002/eqe.126>
- European Knowledge Center for Information Technology (Ed.). (2018). Diseño asistido por ordenador (CAD, Computer-Aided Design). Recuperado el 8 de marzo de 2023 de TIC Portal. <https://www.ticportal.es/glosario-tic/disenio-asistido-ordenador-cad>
- García, L.; Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 7
- Giles, B., Scarponi, J., Galíndez, F. (2010). Recomendaciones para las construcciones de adobe. Perú. Dirección de Preservación del Patrimonio Arquitectónico y Urbano de Salta.
- Houben, H. Guillard, H. (1989). *Earth Construction: A comprehensive guide*. Practical Action Publishing, Rugby, Warwickshire, United Kingdom.
- INEC (2010). Fascículo provincial del Azuay, Ecuador. Recuperado el 16 de diciembre de 2022 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEN – NEC- SE – VIVIENDA 26-10 (2015). Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros. Ecuador. Norma Técnica Ecuatoriana.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, segunda ed. Editorial Fin de Siglo.
- Moscoso, M. (2016). El adobe, sus características y el confort térmico. Ecuador. I Congreso Internacional online Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional “Transformando comunidades hacia el desarrollo local”.
- Neves, C., Borges, O. (2011). *Técnicas de Construcción con tierra*. FEB-UNESP / PROTERRA, Bauru.
- NMAC 14.7.4. (2004). New Mexico Earthen Buildings Materials Code. Estados Unidos. Construction Industries Division CID of the regulation and Licensing Departament.
- Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- NTE INEN 690 (1982). Determinación del Contenido De Agua, Método Del Secado Al Horno. Ecuador. Norma Técnica Ecuatoriana.

NTE INEN 691 (2011). Determinación del Límite Líquido, Método de Casa Grande. Ecuador. Norma Técnica Ecuatoriana.

NTE INEN 692 (2011). Determinación del Límite Plástico. Ecuador. Norma Técnica Ecuatoriana.

NTE INEN 696 (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso. Ecuador. Norma Técnica Ecuatoriana.

Pumpelly, R. (1908). Explorations in Turkestan - Prehistoric Civilizations of Anau. Recuperado el 10 de febrero de 2023 de <http://www.etana.org/sites/default/files/coretexts/20372.pdf>

Pytel, A., Singer, F. (1994). Resistencia de Materiales: Introducción a la mecánica de sólidos, Cuarta Edición. México. Cámara Nacional de la Industria Editorial, Reg. No. 723.

Rael, R. (2009). Earth architecture. Princet Archit Press 208

Silveira, D., Varum, H., Costa, A. et al. (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. Constr Build Mater 28:36–44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.046>.

Tarque, N., Crowley, H., Pinho, R., Varum, H. (2010). Seismic capacity of adobe dwellings. In: Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering

Tarque, N., Crowley, H., Pinho, R., Varum, H. (2012). Displacement-Based Fragility Curves for Seismic Assessment of Adobe Buildings in Cusco, Perú. Earthq Spectra 28:759–794. <https://doi.org/10.1193/1.4000001>

Tarque, N., Guido, C., Humberto, V., et al (2014) Numerical simulation of an adobe wall under in-plane loading. Earthquakes Struct 6:627–646. <https://doi.org/10.12989/eas.2014.6.6.627>

Tarque, N., Lai, G., Bozzoni, F., et al. (2013). Expected ground motion at the historical site of Poggio Picenze, Central Italy, with reference to current Italian building code. Eng Geol 166:100–115. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.09.003>

UNESCO WHC. (2023). Lista del patrimonio mundial. Recuperado el 17 de Enero de 2023 de <https://whc.unesco.org/es/list/>

Valdivia, R. (2016). Guía para los sistemas constructivos con adobe y quinchá. Perú. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de <https://es.slideshare.net/EYNERVVALDIVA/gua-para-los-sistemas-constructivos-con-adobe-y-quinchá>

Anexos

Anexo A. Datos de laboratorio de ensayo de contenido de humedad

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE						
Ensayos Elaborado por:		Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				
		Pizarro Carchi Diego Raúl				
Ubicación Adobera:		Sígsig				
Ubicación Ensayos:		Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				
Fecha:		13 de septiembre 2022				
Tipo de Ensayo:		Contenido de Humedad				
Datos del Ensayo						
#Tara	Peso Tara + SH (g)	Peso Tara + SS (g)	Peso Tara (g)	SS (g)	SH (g)	%Humedad
90	92.2	85.6	44.6	41.0	47.6	16.10
88	101.0	92.7	44.8	47.9	56.2	17.33
30	98.1	89.6	41.8	47.8	56.3	17.78
Norma: NTE INEN 862					w (%)	17.07

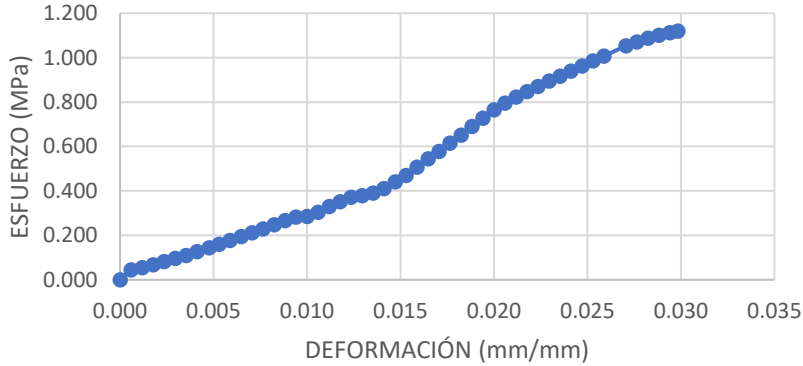
Anexo B. Datos de laboratorio de ensayo de Límites de Atterberg

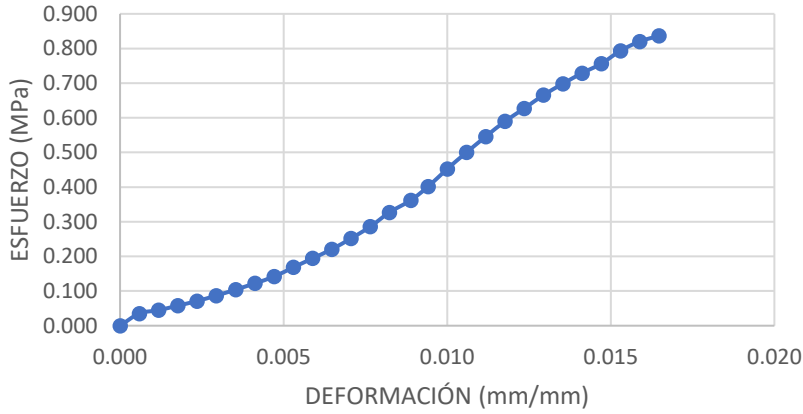
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE										
Ensayos Elaborado por:			Arcentález Astudillo Cristina Estefanía							
			Pizarro Carchi Diego Raúl							
Ubicación Adobera:			Sígsig							
Ubicación Ensayos:			Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca							
Fecha:			14 de septiembre de 2022							
Tipo de Ensayo:			Límite Líquido y Límite Plástico							
LÍMITE LIQUIDO						LÍMITE PLÁSTICO				
#Tara	#Golpes	Peso Tara (g)	Peso Tara + SH (g)	Peso Tara + SS (g)	Humedad (%)	#Tara	Peso Tara (g)	Peso Tara + SH (g)	Peso Tara + SS (g)	Humedad (%)
98	16	44.8	69.1	62.4	38.1	53	47.2	50.6	49.9	25.9
C2	18	44.5	74.9	66.9	35.7	90	45.5	48.4	47.8	26.1
91	23	40.1	71.3	63.4	33.9	P1	47.9	50.5	50.0	23.8
4	29	40.5	65.0	59.0	32.4					
30	35	41.8	61.0	56.5	30.6	LP	25.3	%		
						IP	8.6	%		
En	25	golpes	NORMAS: NTE INEN 691:2011 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, MÉTODO DE CASA GRANDE NTE INEN 692:2011 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO							
LL	33.9	%								

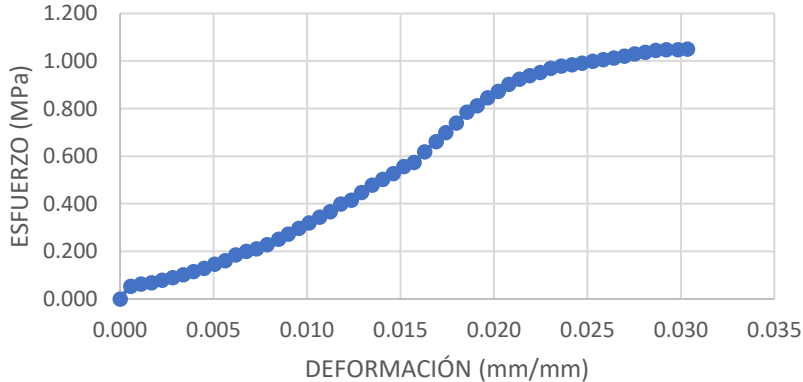
Anexo C. Datos de laboratorio de ensayo de análisis granulométrico

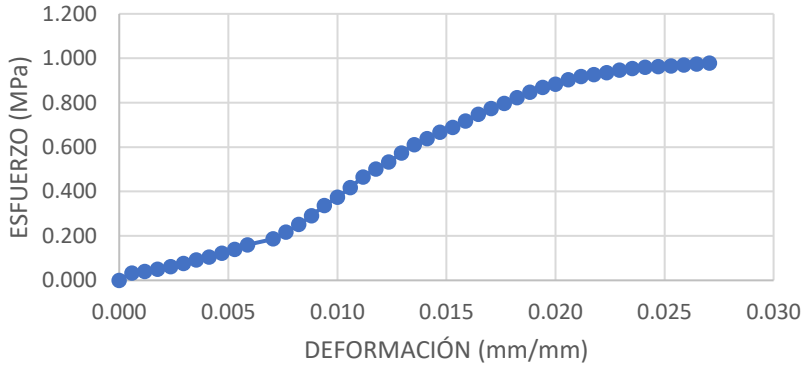
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE									
Ensayos Elaborado por:		Arcentález Astudillo Cristina Estefanía							
		Pizarro Carchi Diego Raúl							
Ubicación Adobera:		Sígsig							
Ubicación Ensayos:		Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca							
Fecha:		15 de septiembre de 2022							
Tipo de Ensayo:		Contenido de Humedad							
Datos del Ensayo									
Peso antes de lavado			700.0	g	Norma: NTE INEN 696:2011 ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO				
Peso seco antes de lavado			597.9	g					
Peso Bandeja			518.0	g					
Peso Bandeja+SS			558.1	g					
Peso seco después del lavado			40.1	g					
Peso lavado			557.8	g					
# Tamiz	Abertura Tamiz (mm)	Peso Retenido + Tamiz (g)	Peso Tamiz (g)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Corregido (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Pasa
4	4.75	490.2	489.2	1.0	1.0	1.0	0.17	0.17	99.83
8	2.36	465.7	465.0	0.7	0.7	1.7	0.12	0.28	99.72
16	1.18	443.8	442.9	0.9	0.9	2.6	0.15	0.43	99.57
30	0.60	376.5	375.6	0.9	0.9	3.5	0.15	0.59	99.41
50	0.30	345.8	344.8	1.0	1.0	4.5	0.17	0.75	99.25
100	0.15	326.0	324.3	1.7	1.7	6.2	0.28	1.04	98.96
200	0.075	360.5	337.3	23.2	23.2	29.4	3.88	4.92	95.08
fondo		373.2	362.0	569.0	568.5	597.9	95.08	100.00	0.00
				598.4	597.9				
			error (g)	-0.5					

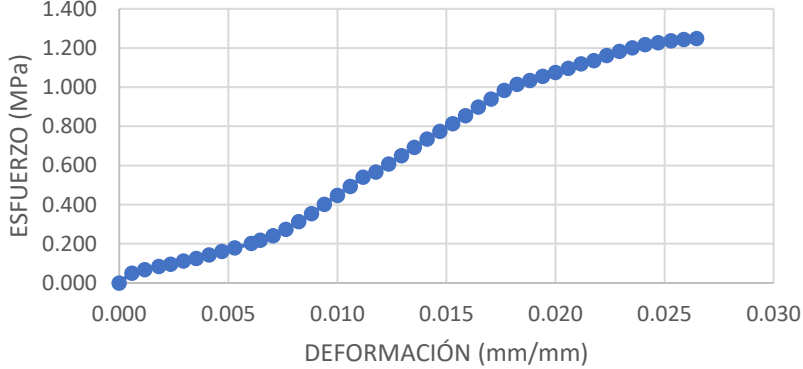
Anexo D. Datos de ensayos a compresión de bloques de adobe

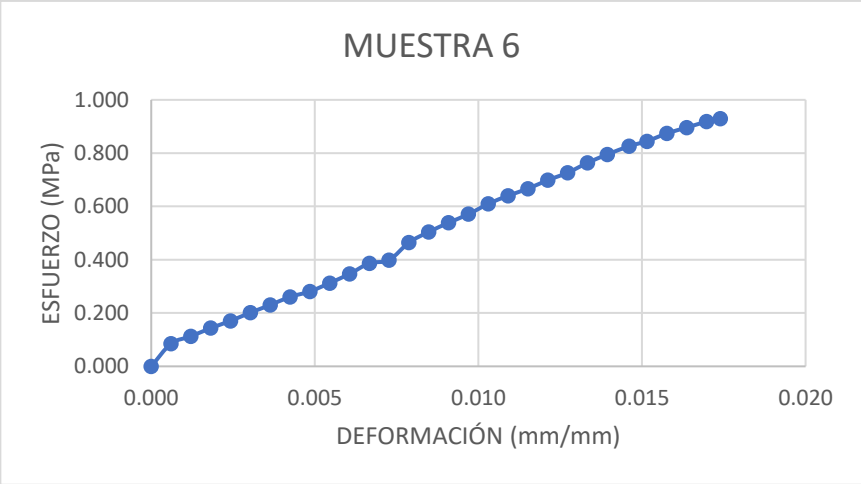
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.545	0.0165
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.044	0.0006	0.578	0.0171
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.054	0.0012	0.616	0.0176
Ubicación Adobera:				0.067	0.0018	0.651	0.0182
Sígsig				0.081	0.0024	0.690	0.0188
Ubicación Ensayos:				0.096	0.0029	0.728	0.0194
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.110	0.0035	0.765	0.0200
Fecha:				0.126	0.0041	0.796	0.0206
18 de octubre de 2022				0.144	0.0048	0.822	0.0212
Tipo de Ensayo:				0.160	0.0053	0.847	0.0218
Ensayos de compresión de bloques de adobe M1				0.177	0.0059	0.871	0.0224
Datos de la Muestra				0.194	0.0065	0.894	0.0229
Longitud	L	39.4	cm	0.211	0.0071	0.917	0.0235
Ancho	a	20.0	cm	0.228	0.0076	0.940	0.0241
Altura	b	17.0	cm	0.248	0.0082	0.962	0.0247
Área	A1	788.0	cm ²	0.266	0.0088	0.985	0.0253
Área	A1	0.0789	m ²	0.282	0.0094	1.007	0.0259
Peso	w	21222	g	0.285	0.0100	1.053	0.0271
MUESTRA 1 				0.304	0.0106	1.071	0.0276
				0.330	0.0112	1.087	0.0282
				0.351	0.0118	1.101	0.0288
				0.371	0.0124	1.113	0.0294
				0.378	0.0129	1.120	0.0298
				0.390	0.0135		
				0.411	0.0141		
				0.440	0.0147		
				0.469	0.0153		
				0.507	0.0159		

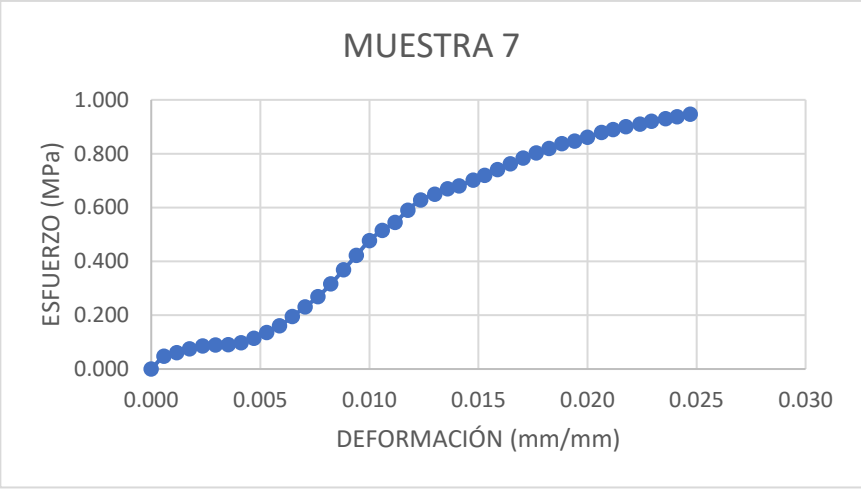
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por: Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.000	0.0000	0.836	0.0165
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.035	0.0006		
Ubicación Adobera: Sígsig				0.045	0.0012		
Ubicación Ensayos: Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.058	0.0018		
Fecha: 18 de octubre de 2022				0.071	0.0024		
Tipo de Ensayo: Ensayos de compresión de bloques de adobe M2				0.087	0.0029		
Datos de la Muestra				0.104	0.0035		
Longitud	L	38.7	cm	0.122	0.0041		
Ancho	a	20.6	cm	0.142	0.0047		
Altura	b	17.0	cm	0.168	0.0053		
Área	AREA	797.2	cm ²	0.194	0.0059		
Área	AREA	0.080	m ²	0.221	0.0065		
Peso	Peso	21176	g	0.252	0.0071		
MUESTRA 2 				0.286	0.0076		
				0.327	0.0082		
				0.362	0.0089		
				0.401	0.0094		
				0.452	0.0100		
				0.500	0.0106		
				0.546	0.0112		
				0.590	0.0118		
				0.627	0.0124		
				0.666	0.0129		
				0.698	0.0135		
				0.729	0.0141		
				0.756	0.0147		
				0.793	0.0153		
				0.820	0.0159		

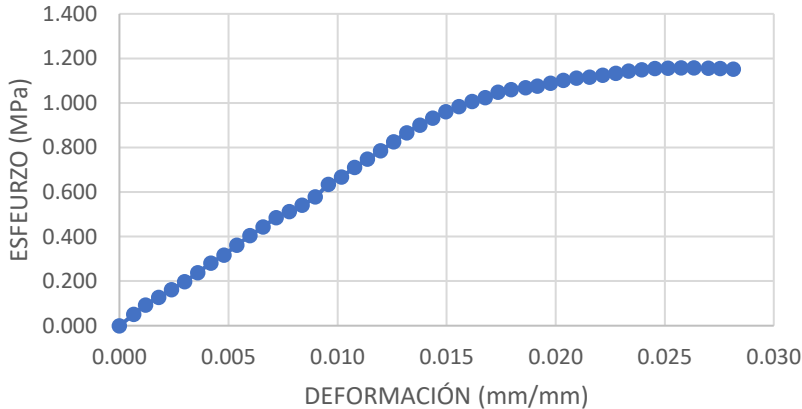
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.574	0.0157
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.053	0.0006	0.619	0.0163
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.062	0.0011	0.661	0.0169
Ubicación Adobera:				0.069	0.0017	0.699	0.0174
Sígsig				0.079	0.0022	0.740	0.0180
Ubicación Ensayos:				0.089	0.0028	0.785	0.0185
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.102	0.0034	0.812	0.0191
Fecha:				0.115	0.0039	0.845	0.0197
18 de octubre de 2022				0.128	0.0045	0.873	0.0202
Tipo de Ensayo:				0.147	0.0051	0.902	0.0208
Ensayos de compresión de bloques de adobe M3				0.161	0.0056	0.924	0.0213
Datos de la Muestra				0.186	0.0062	0.938	0.0219
Longitud	L	39.8	cm	0.199	0.0067	0.952	0.0225
Ancho	a	21.0	cm	0.211	0.0073	0.969	0.0230
Altura	b	17.8	cm	0.229	0.0079	0.979	0.0236
Área	AREA	835.8	cm ²	0.251	0.0085	0.985	0.0242
Área	AREA	0.083	m ²	0.273	0.0090	0.992	0.0247
Peso	Peso	21789	g	0.297	0.0096	0.999	0.0253
MUESTRA 3 				0.320	0.0101	1.006	0.0258
				0.345	0.0107	1.013	0.0264
				0.366	0.0112	1.021	0.0270
				0.400	0.0118	1.030	0.0275
				0.415	0.0124	1.037	0.0281
				0.448	0.0129	1.045	0.0287
				0.478	0.0135	1.048	0.0292
				0.503	0.0140	1.048	0.0298
				0.527	0.0146	1.051	0.0303
				0.557	0.0152		

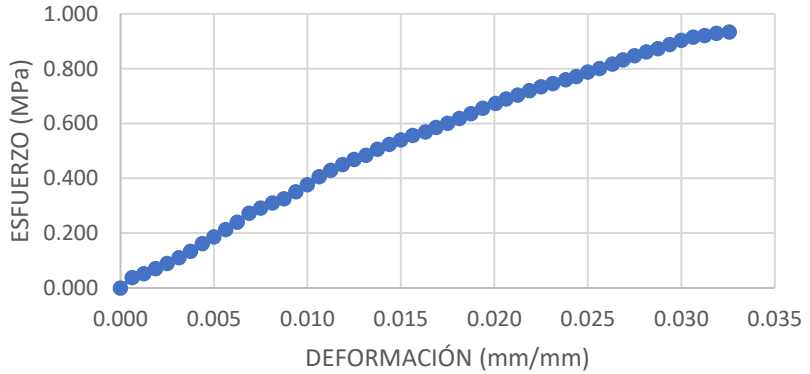
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por: Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.000	0.0000	0.773	0.0171
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.033	0.0006	0.797	0.0176
Ubicación Adobera: Sígsig				0.041	0.0012	0.822	0.0182
Ubicación Ensayos: Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.050	0.0018	0.847	0.0188
Fecha: 18 de octubre de 2022				0.062	0.0024	0.869	0.0194
Tipo de Ensayo: Ensayos de compresión de bloques de adobe M4				0.076	0.0029	0.884	0.0200
Datos de la Muestra				0.092	0.0035	0.904	0.0206
Longitud	L	39.2	cm	0.105	0.0041	0.919	0.0212
Ancho	a	19.9	cm	0.122	0.0047	0.926	0.0218
Altura	b	17.9	cm	0.140	0.0053	0.935	0.0224
Área	AREA	780.1	cm ²	0.160	0.0059	0.947	0.0229
Área	AREA	0.078	m ²	0.188	0.0071	0.954	0.0235
Peso	Peso	21613	g	0.218	0.0076	0.960	0.0241
MUESTRA 4 				0.252	0.0082	0.963	0.0247
				0.292	0.0088	0.965	0.0253
				0.337	0.0094	0.970	0.0259
				0.374	0.0100	0.975	0.0265
				0.418	0.0106	0.978	0.0271
				0.465	0.0112		
				0.501	0.0118		
				0.533	0.0124		
				0.573	0.0129		
				0.611	0.0135		
				0.639	0.0141		
				0.667	0.0147		
				0.689	0.0153		
				0.717	0.0159		
				0.748	0.0165		

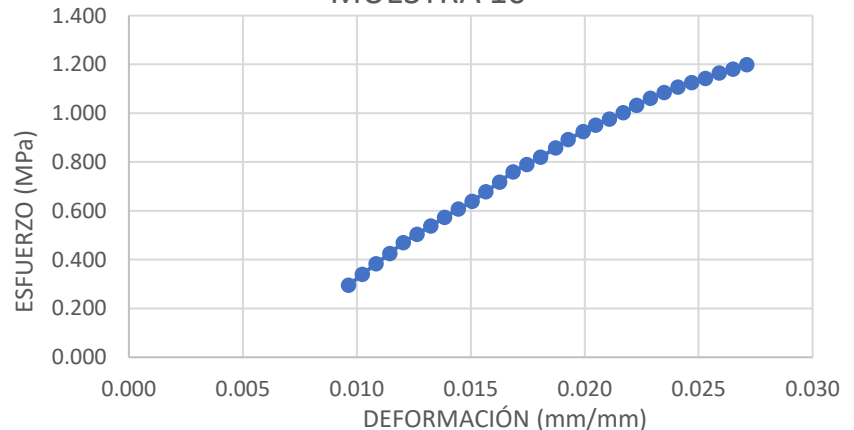
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.898	0.0165
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.051	0.0006	0.940	0.0171
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.067	0.0012	0.984	0.0176
Ubicación Adobera:				0.084	0.0018	1.015	0.0182
Sígsig				0.096	0.0024	1.034	0.0188
Ubicación Ensayos:				0.112	0.0029	1.055	0.0194
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.126	0.0035	1.076	0.0200
Fecha:				0.143	0.0041	1.097	0.0206
18 de octubre de 2022				0.162	0.0047	1.119	0.0212
Tipo de Ensayo:				0.179	0.0053	1.136	0.0218
Ensayos de compresión de bloques de adobe M5				0.203	0.0061	1.162	0.0224
Datos de la Muestra				0.219	0.0065	1.182	0.0229
Longitud	L	39.2	cm	0.242	0.0071	1.201	0.0235
Ancho	a	19.9	cm	0.275	0.0076	1.217	0.0241
Altura	b	17.0	cm	0.313	0.0082	1.228	0.0247
Área	AREA	780.1	cm ²	0.354	0.0088	1.237	0.0253
Área	AREA	0.078	m ²	0.402	0.0094	1.244	0.0259
Peso	Peso	21613	g	0.448	0.0100	1.249	0.0265
MUESTRA 5 				0.493	0.0106		
				0.541	0.0112		
				0.566	0.0118		
				0.608	0.0124		
				0.651	0.0129		
				0.693	0.0135		
				0.735	0.0141		
				0.774	0.0147		
				0.814	0.0153		
				0.854	0.0159		

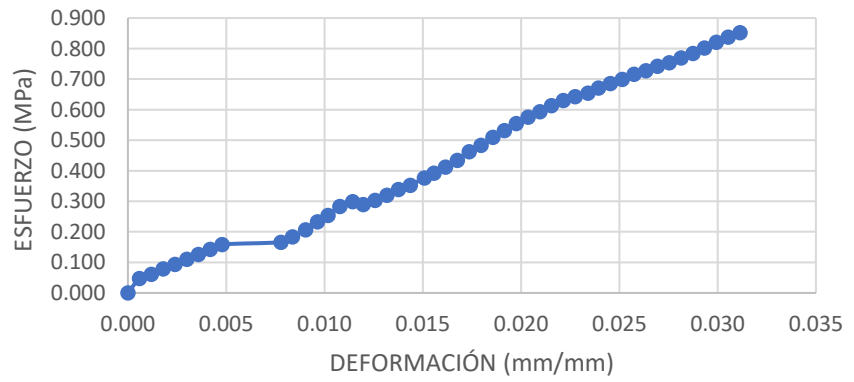
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.918	0.0170
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.085	0.0006	0.930	0.0174
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.113	0.0012		
Ubicación Adobera:				0.143	0.0018		
Sígsig				0.171	0.0024		
Ubicación Ensayos:				0.202	0.0030		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.230	0.0036		
Fecha:				0.261	0.0042		
18 de octubre de 2022				0.281	0.0048		
Tipo de Ensayo:				0.313	0.0055		
Ensayos de compresión de bloques de adobe M6				0.347	0.0061		
Datos de la Muestra				0.387	0.0067		
Longitud	L	40.2	cm	0.399	0.0073		
Ancho	a	20.6	cm	0.465	0.0079		
Altura	b	16.5	cm	0.504	0.0085		
Área	AREA	828.1	cm ²	0.539	0.0091		
Área	AREA	0.0828	m ²	0.571	0.0097		
Peso	Peso	20884	g	0.610	0.0103		
MUESTRA 6 				0.640	0.0109		
				0.667	0.0115		
				0.699	0.0121		
				0.727	0.0127		
				0.764	0.0133		
				0.795	0.0139		
				0.826	0.0146		
				0.845	0.0152		
				0.874	0.0158		
				0.896	0.0164		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.762	0.0165
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.048	0.0006	0.784	0.0171
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.061	0.0012	0.804	0.0176
Ubicación Adobera:				0.075	0.0018	0.820	0.0182
Sígsig				0.086	0.0024	0.837	0.0188
Ubicación Ensayos:				0.089	0.0029	0.848	0.0194
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.091	0.0035	0.861	0.0200
Fecha:				0.097	0.0041	0.879	0.0206
18 de octubre de 2022				0.114	0.0047	0.890	0.0212
Tipo de Ensayo:				0.136	0.0053	0.900	0.0218
Ensayos de compresión de bloques de adobe M7				0.160	0.0059	0.910	0.0224
Datos de la Muestra				0.195	0.0065	0.921	0.0229
Longitud	L	40.0	cm	0.231	0.0071	0.931	0.0236
Ancho	a	20.4	cm	0.269	0.0076	0.938	0.0241
Altura	b	17.0	cm	0.316	0.0082	0.947	0.0247
Área	AREA	816.0	cm ²	0.369	0.0088		
Área	AREA	0.082	m ²	0.423	0.0094		
Peso	Peso	21119	g	0.477	0.0100		
MUESTRA 7 				0.516	0.0106		
				0.545	0.0112		
				0.590	0.0118		
				0.629	0.0124		
				0.650	0.0130		
				0.670	0.0136		
				0.681	0.0141		
				0.702	0.0148		
				0.720	0.0153		
				0.742	0.0159		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000		
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.051	0.0007		
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.093	0.0012		
Ubicación Adobera:				0.128	0.0018		
Sígsig				0.162	0.0024		
Ubicación Ensayos:				0.198	0.0030		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.238	0.0036		
Fecha:				0.281	0.0042		
18 de octubre de 2022				0.318	0.0048		
Tipo de Ensayo:				0.362	0.0054		
Ensayos de compresión de bloques de adobe M8				0.405	0.0060		
Datos de la Muestra				0.443	0.0066		
Longitud	L	38.8	cm	0.485	0.0072		
Ancho	a	19.8	cm	0.512	0.0078		
Altura	b	16.7	cm	0.541	0.0084		
Área	AREA	768.2	cm²	0.578	0.0090		
Área	AREA	0.077	m²	0.634	0.0096		
Peso	Peso	20462	g	0.668	0.0102		
MUESTRA 8 				0.710	0.0108		
				0.748	0.0114		
				0.785	0.0120		
				0.826	0.0126		
				0.867	0.0132		
				0.900	0.0138		
				0.932	0.0144		
				0.961	0.0150		
				0.984	0.0156		
				1.007	0.0162		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.601	0.0175
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.038	0.0006	0.619	0.0181
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.052	0.0013	0.636	0.0188
Ubicación Adobera:				0.071	0.0019	0.656	0.0194
Sígsig				0.090	0.0025	0.674	0.0201
Ubicación Ensayos:				0.111	0.0031	0.690	0.0206
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.134	0.0038	0.704	0.0213
Fecha:				0.162	0.0044	0.720	0.0219
18 de octubre de 2022				0.187	0.0050	0.734	0.0225
Tipo de Ensayo:				0.214	0.0056	0.746	0.0231
Ensayos de compresión de bloques de adobe M9				0.240	0.0063	0.760	0.0238
Datos de la Muestra				0.273	0.0069	0.771	0.0244
Longitud	L	40.0	cm	0.292	0.0075	0.788	0.0250
Ancho	a	20.4	cm	0.310	0.0081	0.801	0.0256
Altura	b	16.0	cm	0.325	0.0088	0.817	0.0263
Área	AREA	816.0	cm ²	0.351	0.0094	0.832	0.0269
Área	AREA	0.082	m ²	0.377	0.0100	0.847	0.0275
Peso	Peso	21057	g	0.406	0.0106	0.861	0.0281
MUESTRA 9 				0.429	0.0113	0.873	0.0288
				0.450	0.0119	0.889	0.0294
				0.469	0.0125	0.904	0.0300
				0.484	0.0131	0.915	0.0306
				0.506	0.0138	0.921	0.0313
				0.524	0.0144	0.929	0.0319
				0.540	0.0150	0.934	0.0326
				0.557	0.0156		
				0.570	0.0163		
				0.586	0.0169		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.295	0.0096	1.181	0.0265
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.340	0.0102	1.200	0.0271
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.383	0.0108		
Ubicación Adobera:				0.425	0.0114		
Sígsig				0.470	0.0120		
Ubicación Ensayos:				0.504	0.0127		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.538	0.0133		
Fecha:				0.573	0.0139		
18 de octubre de 2022				0.607	0.0145		
Tipo de Ensayo:				0.639	0.0151		
Ensayos de compresión de bloques de adobe M10				0.678	0.0157		
Datos de la Muestra				0.718	0.0163		
Longitud	L	39.4	cm	0.760	0.0169		
Ancho	a	20.1	cm	0.790	0.0175		
Altura	b	16.6	cm	0.820	0.0181		
Área	AREA	791.9	cm ²	0.859	0.0187		
Área	AREA	0.079	m ²	0.893	0.0193		
Peso	Peso	20367	g	0.925	0.0199		
MUESTRA 10 				0.952	0.0205		
				0.976	0.0211		
				1.003	0.0217		
				1.032	0.0223		
				1.062	0.0229		
				1.085	0.0235		
				1.107	0.0241		
				1.125	0.0247		
				1.143	0.0253		
				1.165	0.0259		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.532	0.0192
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.048	0.0006	0.554	0.0198
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.061	0.0012	0.576	0.0204
Ubicación Adobera:				0.078	0.0018	0.594	0.0210
Sígsig				0.094	0.0024	0.614	0.0216
Ubicación Ensayos:				0.111	0.0030	0.631	0.0222
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.126	0.0036	0.642	0.0228
Fecha:				0.143	0.0042	0.655	0.0234
18 de octubre de 2022				0.159	0.0048	0.671	0.0240
Tipo de Ensayo:				0.166	0.0078	0.686	0.0246
Ensayos de compresión de bloques de adobe M11				0.184	0.0084	0.700	0.0251
Datos de la Muestra				0.207	0.0090	0.716	0.0257
Longitud	L	39.8	cm	0.233	0.0096	0.728	0.0263
Ancho	a	20.1	cm	0.254	0.0102	0.742	0.0269
Altura	b	16.7	cm	0.284	0.0108	0.753	0.0275
Área	AREA	800.0	cm ²	0.299	0.0114	0.769	0.0281
Área	AREA	0.080	m ²	0.289	0.0120	0.784	0.0287
Peso	Peso	20219	g	0.304	0.0126	0.802	0.0293
MUESTRA 11 				0.320	0.0132	0.821	0.0299
				0.339	0.0138	0.838	0.0305
				0.353	0.0144	0.852	0.0311
				0.377	0.0151		
				0.392	0.0156		
				0.412	0.0162		
				0.434	0.0168		
				0.462	0.0174		
				0.484	0.0180		
				0.509	0.0186		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	0.412	0.0199
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.037	0.0006	0.420	0.0205
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.046	0.0011	0.421	0.0210
Ubicación Adobera:				0.055	0.0018	0.437	0.0216
Sígsig				0.068	0.0023	0.443	0.0222
Ubicación Ensayos:				0.079	0.0029	0.462	0.0227
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.090	0.0034	0.476	0.0233
Fecha:				0.104	0.0040	0.487	0.0239
18 de octubre de 2022				0.116	0.0046	0.501	0.0244
Tipo de Ensayo:				0.123	0.0057		
Ensayos de compresión de bloques de adobe M12				0.139	0.0063		
Datos de la Muestra				0.152	0.0068		
Longitud	L	39.1	cm	0.170	0.0074		
Ancho	a	19.6	cm	0.186	0.0080		
Altura	b	17.6	cm	0.200	0.0085		
Área	AREA	766.4	cm ²	0.219	0.0091		
Área	AREA	0.077	m ²	0.235	0.0097		
Peso	Peso	21272	g	0.253	0.0102		
				0.264	0.0142		
				0.277	0.0148		
				0.290	0.0153		
				0.302	0.0159		
				0.316	0.0165		
				0.344	0.0174		
				0.349	0.0176		
				0.368	0.0182		
				0.382	0.0188		
				0.396	0.0193		

MUESTRA 12

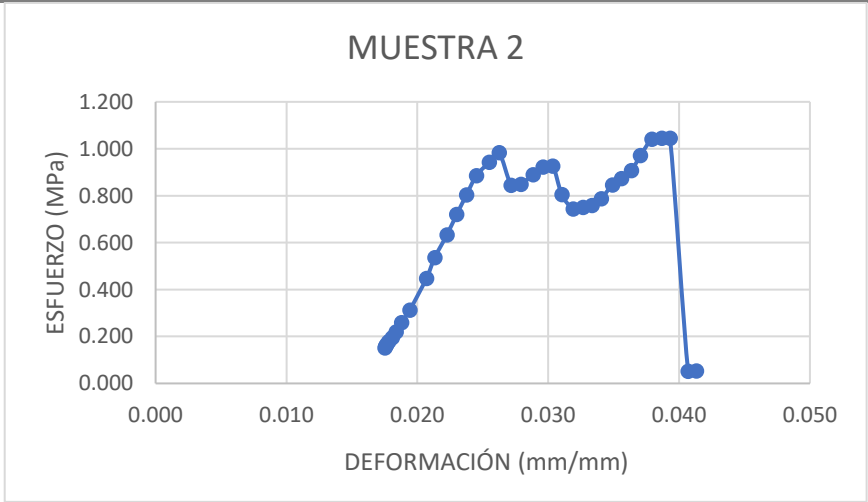
Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)
0.000	0.000
0.001	0.040
0.002	0.080
0.003	0.120
0.004	0.160
0.005	0.200
0.006	0.240
0.007	0.280
0.008	0.320
0.009	0.360
0.010	0.400
0.011	0.440
0.012	0.480
0.013	0.501
0.014	0.480
0.015	0.460
0.016	0.440
0.017	0.420
0.018	0.400
0.019	0.380
0.020	0.360
0.021	0.340
0.022	0.320
0.023	0.300
0.024	0.280
0.025	0.260

Anexo E. Datos de ensayos a flexión de bloques de adobe

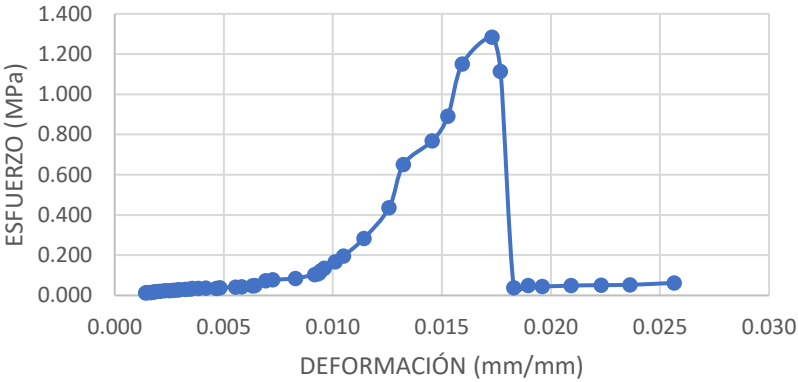
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.088	0.04165
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.094	0.04171
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.095	0.04176
Ubicación Adobera:				0.098	0.04194
Sígsig				0.105	0.04247
Ubicación Ensayos:				0.114	0.04288
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.210	0.04382
Fecha:				0.268	0.04494
27 de octubre de 2022				0.338	0.04565
Tipo de Ensayo:				0.498	0.04694
Ensayos de flexión de bloques de adobe M1				0.600	0.04759
Datos de la Muestra				0.819	0.04906
Longitud	a	39.3	cm	0.929	0.04971
Ancho	b	20.1	cm	1.055	0.05035
Altura	c	17.0	cm	1.179	0.05124
Área	AREA	789.9	cm ²	0.675	0.052
Área	AREA	0.008	m ²	0.353	0.05271
Peso	PESO	20817	g	0.276	0.05335
MUESTRA 1				0.019	0.05488
				0.030	0.05647
				0.031	0.05718
				0.030	0.05853
				0.030	0.05994
				0.029	0.06065
				0.026	0.062
				0.025	0.06282
				0.018	0.06582

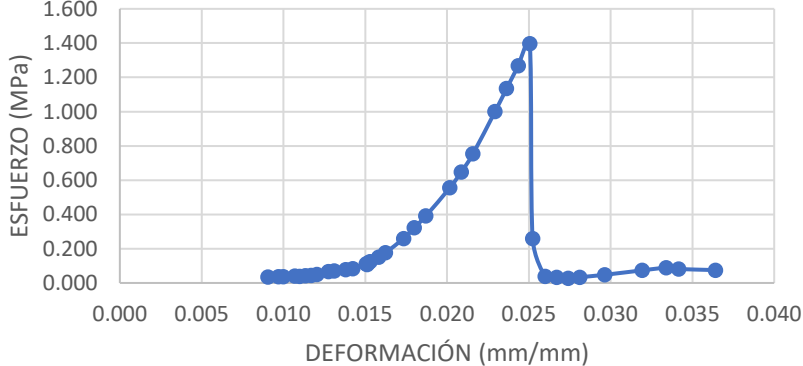
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE

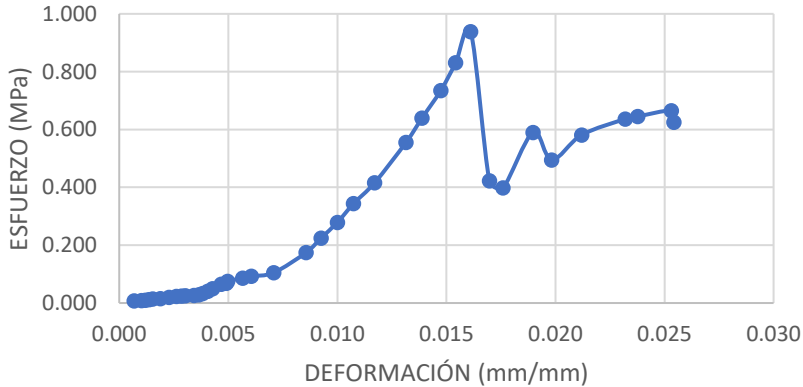
Ensayos Elaborado por:	Arcentález Astudillo Cristina Estefanía		
	Pizarro Carchi Diego Raúl		
Ubicación Adobera:	Sígsig		
Ubicación Ensayos:	Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca		
Fecha:	27 de octubre de 2022		
Tipo de Ensayo:	Ensayos de flexión de bloques de adobe M2		
Datos de la Muestra			
Longitud	a	39.5	cm
Ancho	b	20.0	cm
Altura	c	17.3	cm
Área	AREA	790.0	cm²
Área	AREA	0.008	m²
Peso	PESO	21586	g

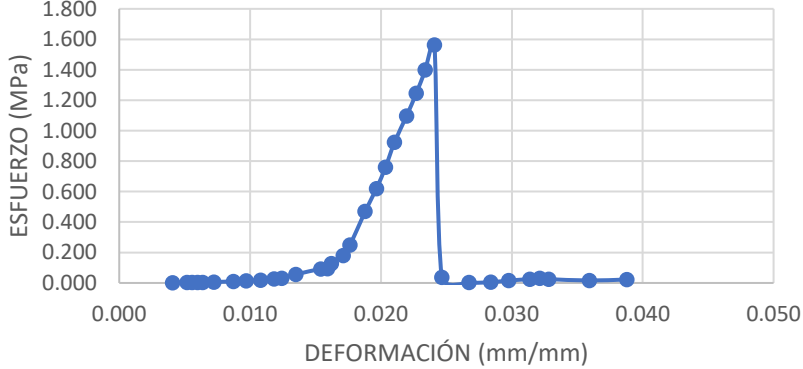


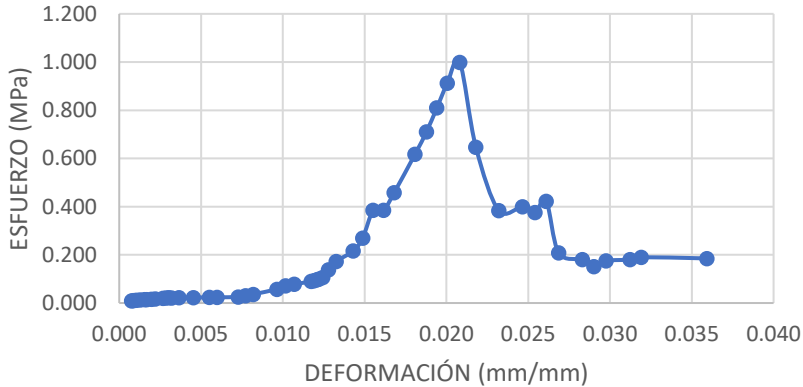
Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
0.151	0.01751	0.874	0.03561
0.159	0.01757	0.908	0.03636
0.163	0.01763	0.971	0.03705
0.169	0.01769	1.041	0.03792
0.179	0.0178	1.045	0.03867
0.195	0.01809	1.045	0.03931
0.220	0.01838	0.051	0.04069
0.259	0.01879	0.054	0.04133
0.313	0.01942		
0.448	0.02069		
0.536	0.02133		
0.633	0.02225		
0.720	0.02301		
0.804	0.02376		
0.885	0.02451		
0.943	0.02549		
0.984	0.02624		
0.845	0.02717		
0.849	0.02792		
0.890	0.02884		
0.923	0.0296		
0.926	0.03035		
0.805	0.03104		
0.744	0.03191		
0.750	0.03266		
0.759	0.03335		
0.788	0.03405		
0.846	0.03491		

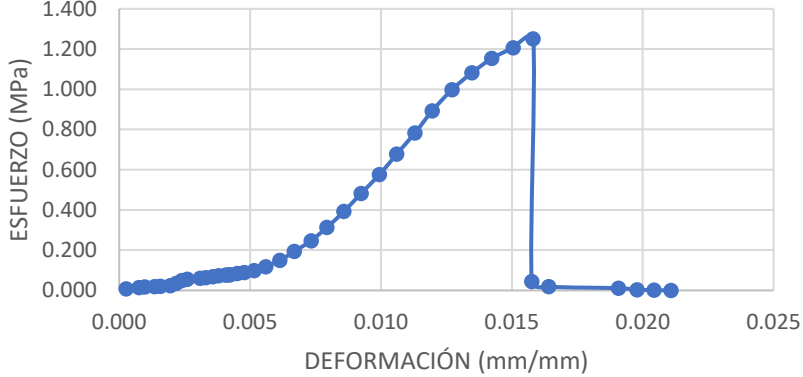
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.013	0.00143	0.123	0.00945
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.014	0.00148	0.135	0.00962
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.014	0.00165	0.168	0.01011
Ubicación Adobera:				0.016	0.00176	0.196	0.01049
Sígsig				0.019	0.00187	0.284	0.01143
Ubicación Ensayos:				0.021	0.00209	0.436	0.01258
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.024	0.00231	0.651	0.01324
Fecha:				0.024	0.00253	0.769	0.01456
27 de octubre de 2022				0.026	0.00269	0.891	0.01527
Tipo de Ensayo:				0.028	0.00286	1.150	0.01593
Ensayos de flexión de bloques de adobe M3				0.029	0.00297	1.284	0.01731
Datos de la Muestra				0.030	0.00324	1.114	0.01769
Longitud	a	39.3	cm	0.033	0.00346	0.038	0.01830
Ancho	b	19.8	cm	0.035	0.00357	0.050	0.01896
Altura	c	18.2	cm	0.035	0.00385	0.045	0.01962
Área	AREA	778.1	cm²	0.036	0.00418	0.049	0.02093
Área	AREA	0.008	m²	0.035	0.00467	0.051	0.02231
Peso	PESO	22462	g	0.038	0.00484	0.053	0.02363
MUESTRA 3 				0.041	0.00555	0.063	0.02566
				0.043	0.00582		
				0.048	0.00632		
				0.049	0.00643		
				0.073	0.00692		
				0.078	0.00725		
				0.085	0.00830		
				0.104	0.00918		
				0.108	0.00934		
				0.113	0.00940		

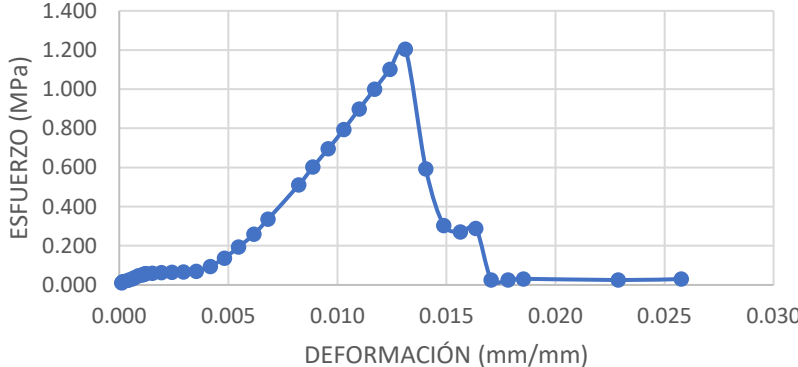
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.035	0.00906	0.260	0.02524
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.036	0.00971	0.039	0.02600
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.038	0.01000	0.033	0.02671
Ubicación Adobera:				0.040	0.01071	0.028	0.02741
Sígsig				0.039	0.01100	0.034	0.02812
Ubicación Ensayos:				0.043	0.01135	0.048	0.02965
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.045	0.01171	0.074	0.03194
Fecha:				0.050	0.01206	0.089	0.03341
27 de octubre de 2022				0.068	0.01276	0.081	0.03418
Tipo de Ensayo:				0.071	0.01312	0.075	0.03641
Ensayos de flexión de bloques de adobe M4				0.079	0.01382		
Datos de la Muestra				0.084	0.01424		
Longitud	a	39.2	cm	0.113	0.01506		
Ancho	b	19.9	cm	0.109	0.01512		
Altura	c	17.0	cm	0.116	0.01518		
Área	AREA	780.1	cm ²	0.124	0.01529		
Área	AREA	0.008	m ²	0.151	0.01582		
Peso	PESO	21862	g	0.176	0.01624		
MUESTRA 4 				0.260	0.01735		
				0.323	0.01800		
				0.391	0.01871		
				0.556	0.02018		
				0.649	0.02088		
				0.754	0.02159		
				1.001	0.02294		
				1.135	0.02365		
				1.268	0.02435		
				1.396	0.02506		

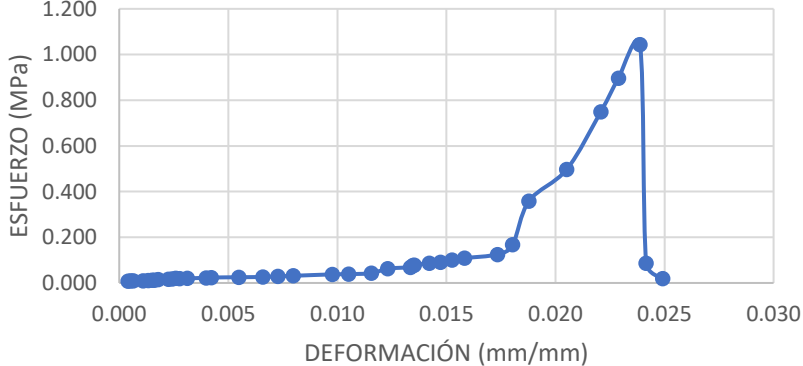
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.008	0.00069	0.735	0.01474
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.009	0.00103	0.831	0.01543
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.010	0.00120	0.939	0.01611
Ubicación Adobera:				0.013	0.00137	0.423	0.01697
Sígsig				0.014	0.00154	0.399	0.01760
Ubicación Ensayos:				0.015	0.00189	0.590	0.01897
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.020	0.00229	0.495	0.01983
Fecha:				0.023	0.00263	0.581	0.02120
27 de octubre de 2022				0.024	0.00286	0.636	0.02320
Tipo de Ensayo:				0.025	0.00303	0.645	0.02377
Ensayos de flexión de bloques de adobe M5				0.026	0.00343	0.665	0.02531
Datos de la Muestra				0.029	0.00366	0.625	0.02543
Longitud	a	39.3	cm	0.033	0.00383		
Ancho	b	20.4	cm	0.041	0.00406		
Altura	c	17.5	cm	0.050	0.00429		
Área	AREA	801.7	cm ²	0.065	0.00469		
Área	AREA	0.008	m ²	0.069	0.00491		
Peso	PESO	22139	g	0.075	0.00497		
MUESTRA 5 				0.086	0.00566		
				0.093	0.00606		
				0.105	0.00709		
				0.175	0.00857		
				0.225	0.00926		
				0.279	0.01000		
				0.344	0.01074		
				0.416	0.01171		
				0.555	0.01314		
				0.640	0.01389		

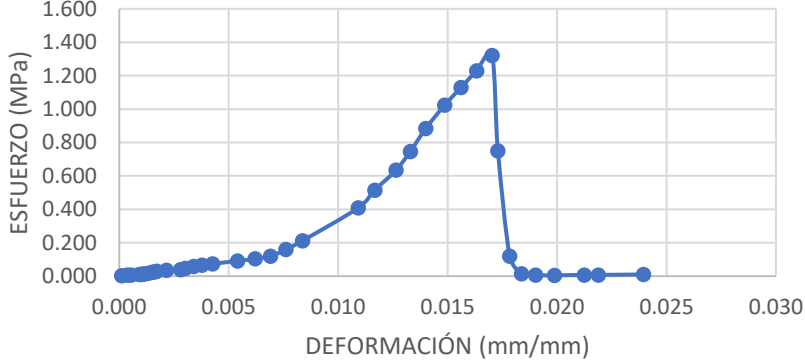
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.003	0.00408	0.016	0.02977
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.004	0.00517	0.025	0.03138
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.004	0.00557	0.031	0.03213
Ubicación Adobera:				0.004	0.00598	0.025	0.03282
Sígsig				0.004	0.00638	0.016	0.03592
Ubicación Ensayos:				0.006	0.00724	0.023	0.03879
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.010	0.00874		
Fecha:				0.014	0.00971		
27 de octubre de 2022				0.019	0.01080		
Tipo de Ensayo:				0.028	0.01184		
Ensayos de flexión de bloques de adobe M6				0.031	0.01241		
Datos de la Muestra				0.056	0.01351		
Longitud	a	39.5	cm	0.093	0.01540		
Ancho	b	19.7	cm	0.095	0.01592		
Altura	c	17.4	cm	0.128	0.01621		
Área	AREA	778.2	cm ²	0.180	0.01713		
Área	AREA	0.008	m ²	0.250	0.01764		
Peso	PESO	21667	g	0.470	0.01879		
MUESTRA 6 				0.620	0.01966		
				0.760	0.02034		
				0.924	0.02103		
				1.096	0.02195		
				1.246	0.02270		
				1.399	0.02339		
				1.564	0.02408		
				0.038	0.02466		
				0.004	0.02672		
				0.005	0.02839		

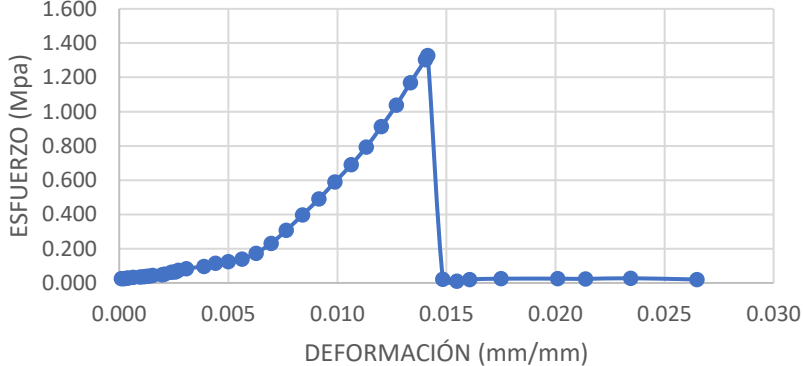
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por: Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.009	0.00076	0.173	0.01326
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.010	0.00087	0.216	0.01430
Ubicación Adobera: Sígsig				0.011	0.00105	0.270	0.01488
Ubicación Ensayos: Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.013	0.00128	0.385	0.01552
Fecha: 27 de octubre de 2022				0.014	0.00157	0.385	0.01616
Tipo de Ensayo: Ensayos de flexión de bloques de adobe M7				0.015	0.00169	0.458	0.01680
Datos de la Muestra				0.016	0.00198	0.618	0.01808
Longitud	a	38.8	cm	0.018	0.00221	0.710	0.01878
Ancho	b	20.0	cm	0.020	0.00267	0.810	0.01942
Altura	c	17.2	cm	0.021	0.00285	0.913	0.02006
Área	AREA	776.0	cm ²	0.023	0.00302	0.999	0.02081
Área	AREA	0.008	m ²	0.021	0.00320	0.646	0.02180
Peso	PESO	21051	g	0.023	0.00366	0.384	0.02320
MUESTRA 7 				0.023	0.00453	0.400	0.02465
				0.024	0.00552	0.376	0.02541
				0.024	0.00599	0.423	0.02610
				0.025	0.00727	0.209	0.02686
				0.030	0.00773	0.180	0.02831
				0.036	0.00820	0.151	0.02901
				0.058	0.00965	0.175	0.02977
				0.071	0.01017	0.180	0.03122
				0.078	0.01070	0.190	0.03192
				0.090	0.01174	0.185	0.03593
				0.093	0.01192		
				0.096	0.01209		
				0.100	0.01221		
				0.106	0.01244		
				0.138	0.01279		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.008	0.00027174	0.784	0.01130435
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.015	0.00076087	0.893	0.01195652
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.018	0.00097826	0.999	0.01271739
Ubicación Adobera:				0.019	0.0013587	1.083	0.01347826
Sígsig				0.020	0.00157609	1.154	0.01423913
Ubicación Ensayos:				0.024	0.00195652	1.206	0.01505435
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.035	0.00217391	1.251	0.01581522
Fecha:				0.049	0.0023913	0.045	0.01576087
27 de octubre de 2022				0.055	0.0026087	0.019	0.01641304
Tipo de Ensayo:				0.060	0.00309783	0.011	0.01907609
Ensayos de flexión de bloques de adobe M8				0.064	0.00331522	0.004	0.01978261
Datos de la Muestra				0.069	0.00358696	0.001	0.02043478
Longitud	a	38.4	cm	0.074	0.00380435	0.000	0.02108696
Ancho	b	20.3	cm	0.076	0.00407609		
Altura	c	18.4	cm	0.078	0.00418478		
Área	AREA	779.5	cm ²	0.079	0.00423913		
Área	AREA	0.008	m ²	0.084	0.00451087		
Peso	PESO	22631	g	0.089	0.00478261		
MUESTRA 8 				0.099	0.00516304		
				0.118	0.00559783		
				0.150	0.0061413		
				0.194	0.00668478		
				0.248	0.00733696		
				0.314	0.00793478		
				0.393	0.00858696		
				0.483	0.00923913		
				0.576	0.00994565		
				0.678	0.01059783		

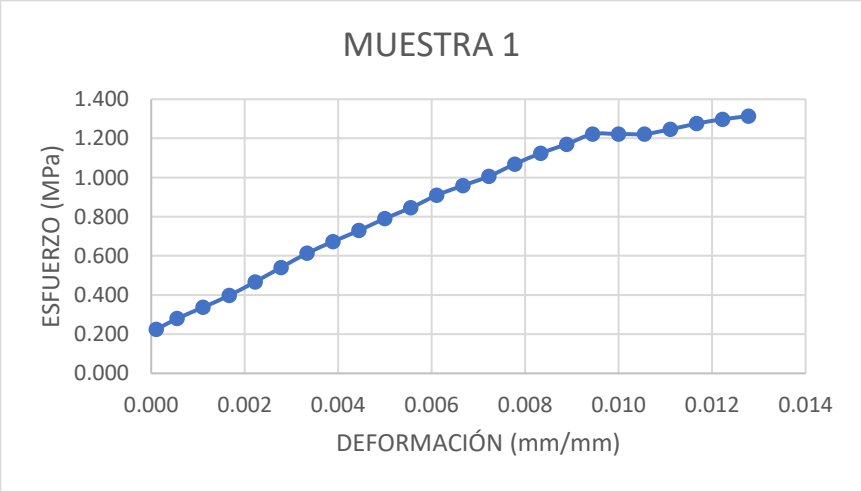
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:		Arcentález Astudillo Cristina Estefanía		0.011	0.00012	0.593	0.01406
		Pizarro Carchi Diego Raúl		0.018	0.00018	0.304	0.01488
Ubicación Adobera:		Sígsig		0.024	0.00041	0.271	0.01565
Ubicación Ensayos:		Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca		0.031	0.00059	0.289	0.01635
Fecha:		27 de octubre de 2022		0.038	0.00071	0.026	0.01706
Tipo de Ensayo:		Ensayos de flexión de bloques de adobe M9		0.046	0.00088	0.026	0.01782
Datos de la Muestra				0.053	0.00106	0.031	0.01853
Longitud	a	39.4	cm	0.054	0.00112	0.025	0.02288
Ancho	b	20.3	cm	0.056	0.00118	0.030	0.02576
Altura	c	17.0	cm	0.059	0.00124		
Área	AREA	799.8	cm²	0.060	0.00153		
Área	AREA	0.008	m²	0.064	0.00194		
Peso	PESO	21604	g	0.065	0.00241		
MUESTRA 9 				0.066	0.00294		
				0.070	0.00353		
				0.095	0.00418		
				0.138	0.00482		
				0.194	0.00547		
				0.259	0.00618		
				0.336	0.00682		
				0.511	0.00824		
				0.603	0.00888		
				0.696	0.00959		
				0.794	0.01029		
				0.899	0.01100		
				1.000	0.01171		
				1.101	0.01241		
				1.205	0.01312		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.008	0.00040	0.100	0.01526
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.009	0.00052	0.109	0.01584
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.009	0.00064	0.125	0.01734
Ubicación Adobera:				0.010	0.00110	0.168	0.01803
Sígsig				0.011	0.00133	0.359	0.01879
Ubicación Ensayos:				0.013	0.00150	0.498	0.02052
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.013	0.00162	0.750	0.02208
Fecha:				0.015	0.00179	0.896	0.02289
27 de octubre de 2022				0.016	0.00225	1.044	0.02387
Tipo de Ensayo:				0.018	0.00243	0.086	0.02416
Ensayos de flexión de bloques de adobe M10				0.021	0.00260	0.019	0.02491
Datos de la Muestra				0.019	0.00277		
Longitud	a	39.3	cm	0.020	0.00312		
Ancho	b	19.5	cm	0.023	0.00399		
Altura	c	17.3	cm	0.024	0.00422		
Área	AREA	766.4	cm ²	0.025	0.00549		
Área	AREA	0.008	m ²	0.026	0.00659		
Peso	PESO	21815	g	0.029	0.00728		
MUESTRA 10 				0.031	0.00798		
				0.038	0.00977		
				0.039	0.01052		
				0.043	0.01156		
				0.063	0.01231		
				0.069	0.01335		
				0.076	0.01347		
				0.079	0.01353		
				0.086	0.01422		
				0.090	0.01474		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.004	0.00011	1.130	0.01562
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.006	0.00038	1.230	0.01632
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.008	0.00054	1.321	0.01703
Ubicación Adobera:				0.010	0.00092	0.750	0.01730
Sígsig				0.011	0.00103	0.119	0.01784
Ubicación Ensayos:				0.013	0.00108	0.014	0.01838
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.014	0.00119	0.006	0.01903
Fecha:				0.019	0.00135	0.005	0.01989
27 de octubre de 2022				0.024	0.00151	0.008	0.02124
Tipo de Ensayo:				0.026	0.00162	0.008	0.02189
Ensayos de flexión de bloques de adobe M11				0.029	0.00173	0.010	0.02395
Datos de la Muestra				0.035	0.00216		
Longitud	a	39.2	cm	0.039	0.00281		
Ancho	b	20.1	cm	0.048	0.00303		
Altura	c	18.5	cm	0.058	0.00341		
Área	AREA	787.9	cm ²	0.066	0.00378		
Área	AREA	0.008	m ²	0.074	0.00427		
Peso	PESO	22011	g	0.091	0.00541		
MUESTRA 11 				0.104	0.00622		
				0.120	0.00692		
				0.160	0.00762		
				0.213	0.00838		
				0.409	0.01092		
				0.515	0.01168		
				0.635	0.01265		
				0.746	0.01330		
				0.884	0.01400		
				1.024	0.01486		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.025	0.00011	0.794	0.01133
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.026	0.00021	0.914	0.01202
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.028	0.00032	1.039	0.01271
Ubicación Adobera:				0.030	0.00043	1.170	0.01335
Sígsig				0.034	0.00064	1.304	0.01404
Ubicación Ensayos:				0.035	0.00096	1.328	0.01415
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.036	0.00112	0.023	0.01484
Fecha:				0.039	0.00122	0.010	0.01548
27 de octubre de 2022				0.040	0.00138	0.020	0.01606
Tipo de Ensayo:				0.044	0.00154	0.025	0.01750
Ensayos de flexión de bloques de adobe M12				0.048	0.00197	0.025	0.02011
Datos de la Muestra				0.051	0.00207	0.024	0.02138
Longitud	a	40.4	cm	0.063	0.00239	0.028	0.02346
Ancho	b	20.4	cm	0.065	0.00255	0.020	0.02649
Altura	c	18.8	cm	0.068	0.00261		
Área	AREA	824.2	cm ²	0.074	0.00271		
Área	AREA	0.008	m ²	0.084	0.00309		
Peso	PESO	23187	g	0.098	0.00388		
MUESTRA 12 				0.115	0.00441		
				0.125	0.00500		
				0.139	0.00564		
				0.174	0.00628		
				0.231	0.00697		
				0.308	0.00766		
				0.398	0.00840		
				0.490	0.00915		
				0.590	0.00989		
				0.690	0.01064		

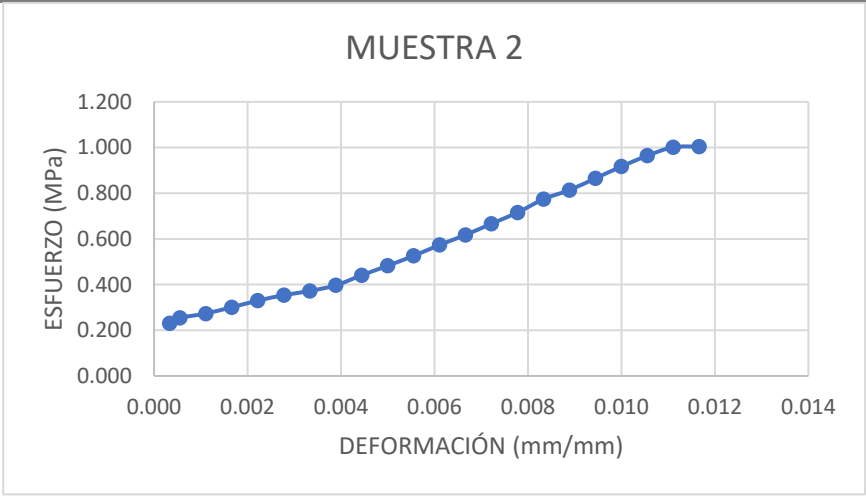
Anexo F. Datos de ensayos a compresión de cubos de adobe

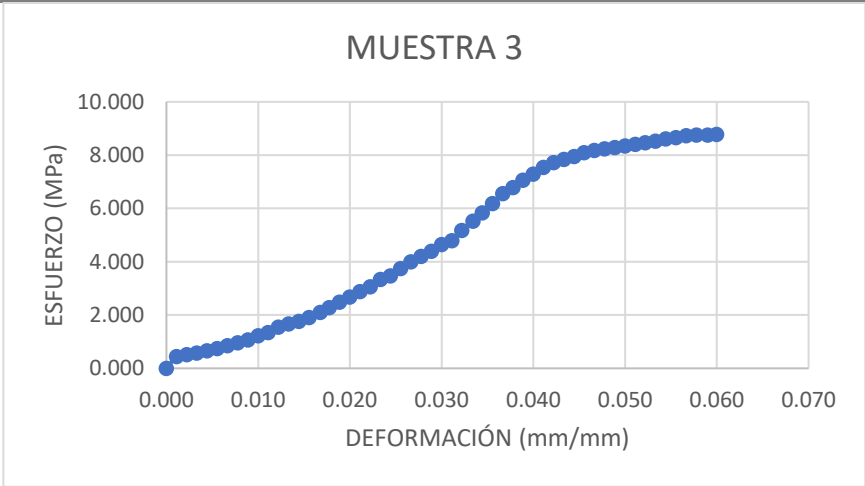
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.225	0.0001
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.280	0.0006
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.338	0.0011
Ubicación Adobera:				0.398	0.0017
Sígsig				0.467	0.0022
Ubicación Ensayos:				0.541	0.0028
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.613	0.0033
Fecha:				0.673	0.0039
27 de octubre de 2022				0.729	0.0044
Tipo de Ensayo:				0.791	0.0050
Ensayos de compresión de cubos 10 cm de adobe M1				0.846	0.0056
Datos de la Muestra				0.910	0.0061
Longitud	L	9.7	cm	0.959	0.0067
Ancho	a	10.0	cm	1.006	0.0072
Altura	b	9.0	cm	1.069	0.0078
Área	A1	97.0	cm ²	1.124	0.0083
Área	A1	0.010	m ²	1.171	0.0089
Peso	w	1329.9	g	1.222	0.0094
MUESTRA 1 				1.222	0.0100
				1.223	0.0106
				1.246	0.0111
				1.276	0.0117
				1.298	0.0122
				1.314	0.0128

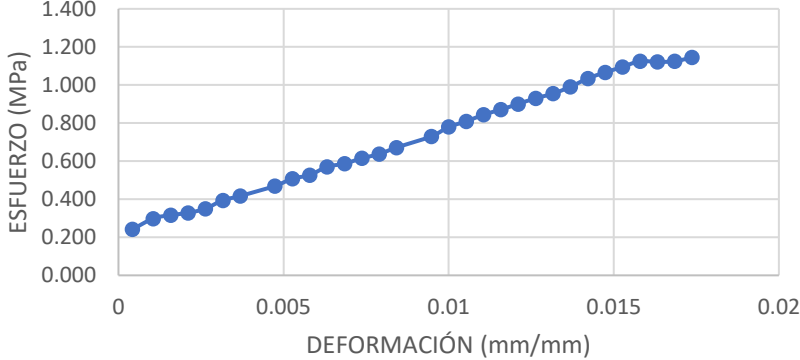
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE

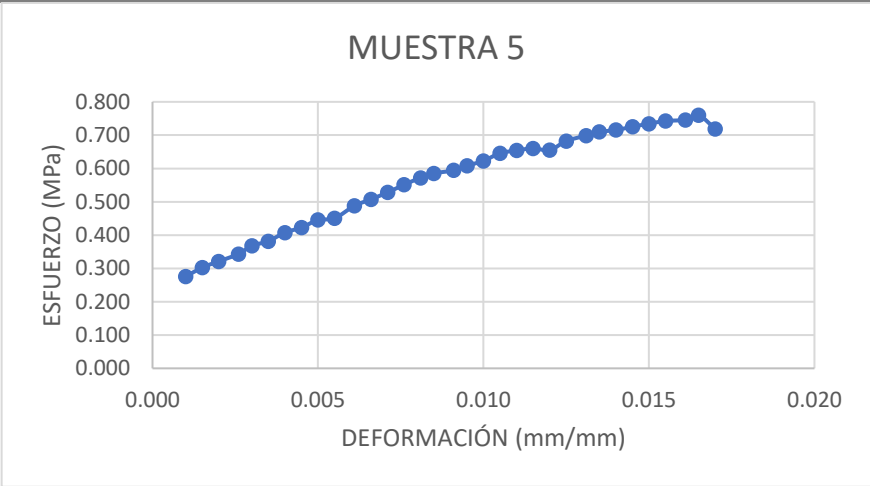
Ensayos Elaborado por:	Arcentález Astudillo Cristina Estefanía		
	Pizarro Carchi Diego Raúl		
Ubicación Adobera:	Sígsig		
Ubicación Ensayos:	Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca		
Fecha:	27 de octubre de 2022		
Tipo de Ensayo:	Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M2		
Datos de la Muestra			
Longitud	L	9.8	cm
Ancho	a	10.0	cm
Altura	b	9.0	cm
Área	AREA	98.0	cm ²
Área	AREA	0.010	m ²
Peso	Peso	1362.1	g

Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
0.231	0.0003
0.254	0.0006
0.273	0.0011
0.301	0.0017
0.330	0.0022
0.354	0.0028
0.372	0.0033
0.397	0.0039
0.441	0.0044
0.483	0.0050
0.526	0.0056
0.574	0.0061
0.618	0.0067
0.667	0.0072
0.716	0.0078
0.774	0.0083
0.814	0.0089
0.865	0.0094
0.917	0.0100
0.964	0.0106
1.001	0.0111
1.004	0.0117



ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.000	0.0000	4.798	0.0311
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.445	0.0011	5.174	0.0322
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.521	0.0022	5.528	0.0334
Ubicación Adobera:				0.576	0.0033	5.841	0.0344
Sígsig				0.661	0.0044	6.184	0.0356
Ubicación Ensayos:				0.747	0.0056	6.559	0.0367
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.849	0.0067	6.790	0.0378
Fecha:				0.965	0.0078	7.066	0.0389
27 de octubre de 2022				1.072	0.0089	7.293	0.0400
Tipo de Ensayo:				1.225	0.0100	7.540	0.0411
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M3				1.345	0.0111	7.721	0.0422
Datos de la Muestra				1.553	0.0122	7.841	0.0433
Longitud	L	10	cm	1.667	0.0133	7.954	0.0444
Ancho	a	10	cm	1.767	0.0144	8.099	0.0456
Altura	b	9	cm	1.912	0.0156	8.183	0.0467
Área	AREA	100	cm ²	2.096	0.0168	8.234	0.0478
Área	AREA	0.01	m ²	2.279	0.0178	8.287	0.0489
Peso	Peso	1328.7	g	2.483	0.0189	8.350	0.0500
MUESTRA 3 				2.678	0.0200	8.406	0.0511
				2.881	0.0211	8.463	0.0522
				3.062	0.0222	8.530	0.0533
				3.340	0.0233	8.608	0.0544
				3.470	0.0244	8.664	0.0556
				3.746	0.0256	8.732	0.0567
				3.999	0.0267	8.761	0.0578
				4.205	0.0278	8.761	0.0590
				4.401	0.0289	8.783	0.0600
				4.652	0.0300		

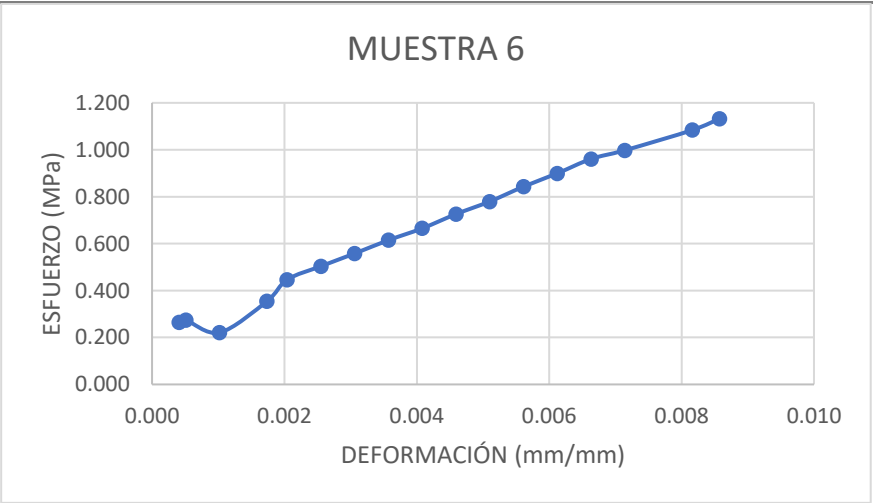
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.242	0.0004	1.121	0.0163
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.298	0.0011	1.124	0.0168
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.317	0.0016	1.145	0.0174
Ubicación Adobera:				0.328	0.0021		
Sígsig				0.350	0.0026		
Ubicación Ensayos:				0.394	0.0032		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.417	0.0037		
Fecha:				0.469	0.0047		
27 de octubre de 2022				0.508	0.0053		
Tipo de Ensayo:				0.527	0.0058		
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M4				0.570	0.0063		
Datos de la Muestra				0.587	0.0068		
Longitud	L	10.0	cm	0.615	0.0074		
Ancho	a	9.7	cm	0.637	0.0079		
Altura	b	9.5	cm	0.671	0.0084		
Área	AREA	97.0	cm ²	0.730	0.0095		
Área	AREA	0.010	m ²	0.780	0.0100		
Peso	Peso	1337.5	g	0.809	0.0105		
MUESTRA 4 				0.844	0.0111		
				0.871	0.0116		
				0.900	0.0121		
				0.930	0.0126		
				0.954	0.0132		
				0.990	0.0137		
				1.034	0.0142		
				1.066	0.0147		
				1.095	0.0153		
				1.125	0.0158		

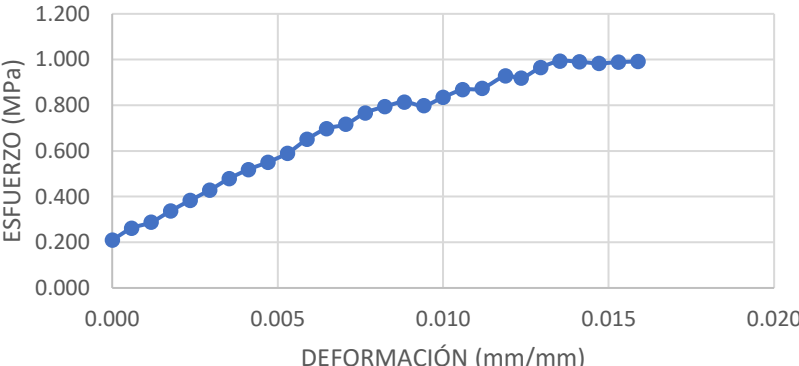
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.275	0.0010	0.734	0.0150
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.302	0.0015	0.743	0.0155
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.321	0.0020	0.746	0.0161
Ubicación Adobera:				0.343	0.0026	0.760	0.0165
Sígsig				0.368	0.0030	0.719	0.0170
Ubicación Ensayos:				0.382	0.0035		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.408	0.0040		
Fecha:				0.423	0.0045		
27 de octubre de 2022				0.445	0.0050		
Tipo de Ensayo:				0.450	0.0055		
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M5				0.488	0.0061		
Datos de la Muestra				0.507	0.0066		
Longitud	L	10.0	cm	0.528	0.0071		
Ancho	a	9.5	cm	0.551	0.0076		
Altura	b	10.0	cm	0.572	0.0081		
Área	AREA	95.0	cm ²	0.585	0.0085		
Área	AREA	0.010	m ²	0.594	0.0091		
Peso	Peso	1416.2	g	0.608	0.0095		
MUESTRA 5 				0.623	0.0100		
				0.646	0.0105		
				0.654	0.0110		
				0.660	0.0115		
				0.655	0.0120		
				0.682	0.0125		
				0.699	0.0131		
				0.710	0.0135		
				0.715	0.0140		
				0.725	0.0145		

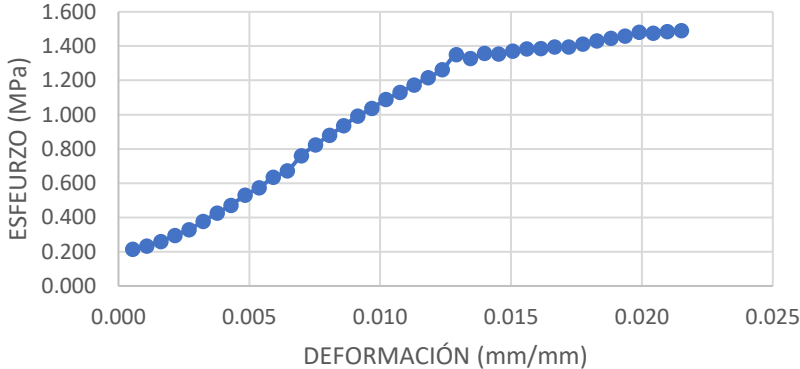
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE

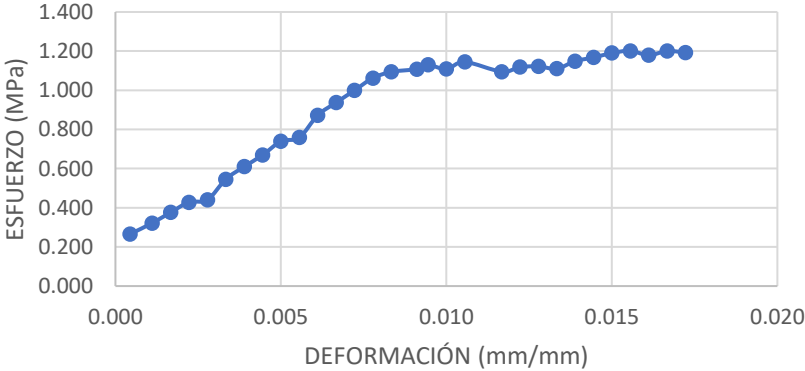
Ensayos Elaborado por:	Arcentález Astudillo Cristina Estefanía		
	Pizarro Carchi Diego Raúl		
Ubicación Adobera:	Sígsig		
Ubicación Ensayos:	Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca		
Fecha:	27 de octubre de 2022		
Tipo de Ensayo:	Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M6		
Datos de la Muestra			
Longitud	L	9.5	cm
Ancho	a	9.5	cm
Altura	b	9.8	cm
Área	AREA	90.3	cm ²
Área	AREA	0.009	m ²
Peso	Peso	1354.3	g

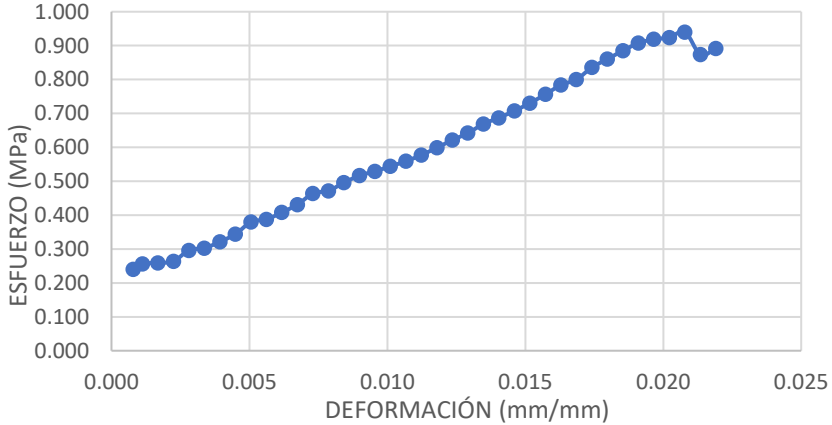
Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
0.265	0.0004
0.274	0.0005
0.221	0.0010
0.354	0.0017
0.447	0.0020
0.504	0.0026
0.558	0.0031
0.615	0.0036
0.665	0.0041
0.726	0.0046
0.780	0.0051
0.843	0.0056
0.900	0.0061
0.961	0.0066
0.998	0.0071
1.084	0.0082
1.132	0.0086

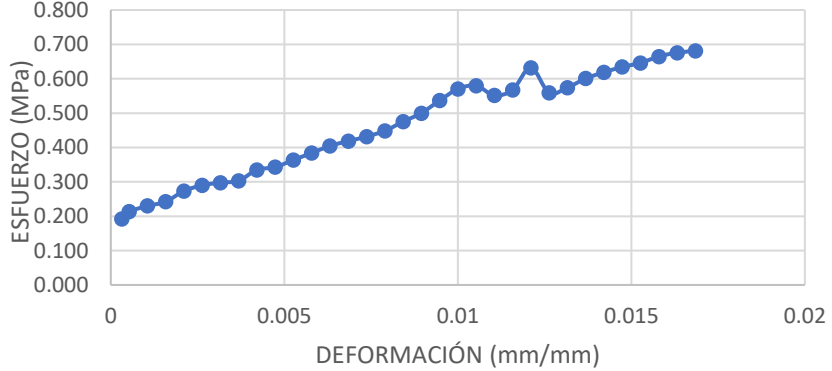


ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por: Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.210	0
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.261	0.00059
Ubicación Adobera: Sígsig				0.288	0.00118
Ubicación Ensayos: Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.337	0.00176
Fecha: 27 de octubre de 2022				0.383	0.00235
Tipo de Ensayo: Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M7				0.428	0.00294
Datos de la Muestra				0.478	0.00353
Longitud	L	10.0	cm	0.519	0.00412
Ancho	a	10.0	cm	0.551	0.00471
Altura	b	8.5	cm	0.590	0.00529
Área	AREA	100.0	cm²	0.651	0.00588
Área	AREA	0.010	m²	0.697	0.00647
Peso	Peso	1303.3	g	0.717	0.00706
MUESTRA 7 				0.767	0.00765
				0.794	0.00824
				0.814	0.00882
				0.798	0.00941
				0.835	0.01
				0.868	0.01059
				0.874	0.01118
				0.929	0.01188
				0.918	0.01235
				0.965	0.01294
				0.993	0.01353
				0.990	0.01412
				0.983	0.01471
				0.989	0.01529
				0.991	0.01588

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.215	0.0005	1.384	0.0156
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.234	0.0011	1.386	0.0161
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.260	0.0016	1.395	0.0167
Ubicación Adobera:				0.294	0.0022	1.396	0.0172
Sígsig				0.329	0.0027	1.412	0.0177
Ubicación Ensayos:				0.376	0.0032	1.431	0.0183
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.426	0.0038	1.445	0.0188
Fecha:				0.471	0.0043	1.458	0.0194
27 de octubre de 2022				0.530	0.0048	1.482	0.0199
Tipo de Ensayo:				0.573	0.0054	1.476	0.0204
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M8				0.635	0.0059	1.485	0.0210
Datos de la Muestra				0.672	0.0065	1.491	0.0215
Longitud	L	9.5	cm	0.760	0.0070		
Ancho	a	9.7	cm	0.824	0.0075		
Altura	b	9.3	cm	0.879	0.0081		
Área	AREA	92.2	cm ²	0.935	0.0086		
Área	AREA	0.009	m ²	0.991	0.0091		
Peso	Peso	1341.7	g	1.036	0.0097		
MUESTRA 8 				1.089	0.0102		
				1.129	0.0108		
				1.174	0.0113		
				1.216	0.0118		
				1.262	0.0124		
				1.350	0.0129		
				1.328	0.0134		
				1.359	0.0140		
				1.354	0.0145		
				1.372	0.0151		

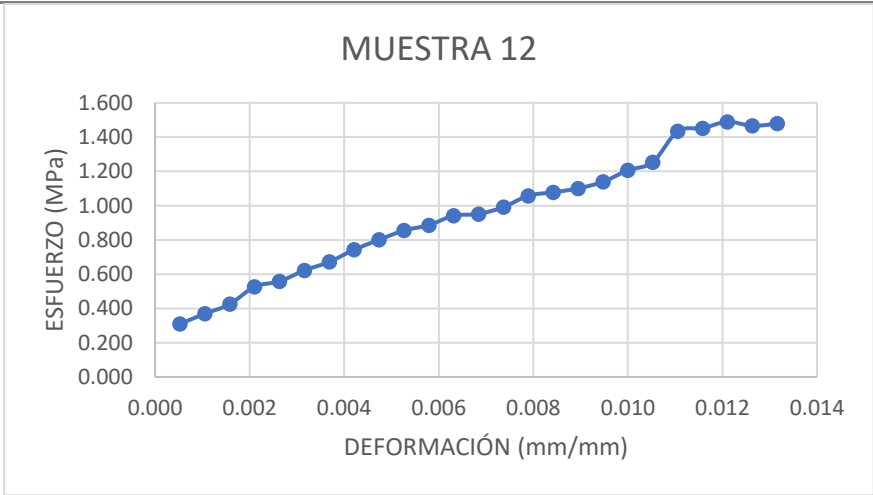
ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.266	0.0004	1.200	0.0167
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.322	0.0011	1.193	0.0172
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.376	0.0017		
Ubicación Adobera:				0.428	0.0022		
Sígsig				0.441	0.0028		
Ubicación Ensayos:				0.545	0.0033		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.610	0.0039		
Fecha:				0.669	0.0044		
27 de octubre de 2022				0.739	0.0050		
Tipo de Ensayo:				0.759	0.0056		
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M9				0.872	0.0061		
Datos de la Muestra				0.937	0.0067		
Longitud				0.999	0.0072		
L				1.062	0.0078		
9.7				1.094	0.0083		
cm				1.108	0.0091		
Ancho				1.130	0.0094		
a				1.109	0.0100		
9.7				1.145	0.0106		
cm				1.095	0.0117		
Altura				1.118	0.0122		
b				1.122	0.0128		
9.0				1.110	0.0133		
cm				1.149	0.0139		
Área				1.167	0.0144		
AREA				1.190	0.0150		
94.1				1.202	0.0156		
cm²				1.179	0.0161		
Área							
AREA							
0.009							
m²							
Peso							
Peso							
1273.6							
g							
MUESTRA 9							
							

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.240	0.0008	0.784	0.0163
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.256	0.0011	0.800	0.0169
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.259	0.0017	0.836	0.0174
Ubicación Adobera:				0.264	0.0022	0.860	0.0180
Sigsig				0.296	0.0028	0.885	0.0185
Ubicación Ensayos:				0.302	0.0034	0.908	0.0191
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.322	0.0039	0.919	0.0197
Fecha:				0.344	0.0045	0.924	0.0202
27 de octubre de 2022				0.380	0.0051	0.940	0.0208
Tipo de Ensayo:				0.387	0.0056	0.874	0.0213
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M10				0.408	0.0062	0.892	0.0219
Datos de la Muestra				0.431	0.0067		
Longitud	L	10.0	cm	0.464	0.0073		
Ancho	a	9.8	cm	0.472	0.0079		
Altura	b	8.9	cm	0.496	0.0084		
Área	AREA	98.0	cm ²	0.517	0.0090		
Área	AREA	0.010	m ²	0.529	0.0096		
Peso	Peso	1354.7	g	0.544	0.0101		
MUESTRA 10 				0.559	0.0107		
				0.577	0.0112		
				0.599	0.0118		
				0.621	0.0124		
				0.642	0.0129		
				0.669	0.0135		
				0.687	0.0140		
				0.708	0.0146		
				0.731	0.0152		
				0.756	0.0157		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.192	0.0003	0.634	0.0147
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.213	0.0005	0.646	0.0153
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.230	0.0011	0.665	0.0158
Ubicación Adobera:				0.242	0.0016	0.676	0.0163
Sígsig				0.273	0.0021	0.681	0.0168
Ubicación Ensayos:				0.290	0.0026		
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.298	0.0032		
Fecha:				0.303	0.0037		
27 de octubre de 2022				0.335	0.0042		
Tipo de Ensayo:				0.343	0.0047		
Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M11				0.364	0.0053		
Datos de la Muestra				0.384	0.0058		
Longitud	L	10.5	cm	0.405	0.0063		
Ancho	a	10.3	cm	0.418	0.0068		
Altura	b	9.5	cm	0.432	0.0074		
Área	AREA	108.2	cm ²	0.448	0.0079		
Área	AREA	0.011	m ²	0.475	0.0084		
Peso	Peso	1438.1	g	0.500	0.0089		
MUESTRA 11 				0.537	0.0095		
				0.570	0.0100		
				0.580	0.0105		
				0.552	0.0111		
				0.568	0.0116		
				0.632	0.0121		
				0.559	0.0126		
				0.574	0.0132		
				0.601	0.0137		
				0.619	0.0142		

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE

Ensayos Elaborado por:	Arcentález Astudillo Cristina Estefanía		
	Pizarro Carchi Diego Raúl		
Ubicación Adobera:	Sígsig		
Ubicación Ensayos:	Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca		
Fecha:	27 de octubre de 2022		
Tipo de Ensayo:	Ensayos de compresión de cubos 10cm de adobe M12		
Datos de la Muestra			
Longitud	L	9.5	cm
Ancho	a	9.7	cm
Altura	b	9.5	cm
Área	AREA	92.2	cm ²
Área	AREA	0.009	m ²
Peso	Peso	1347.0	g



Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
0.310	0.0005
0.369	0.0011
0.425	0.0016
0.527	0.0021
0.558	0.0026
0.622	0.0032
0.672	0.0037
0.743	0.0042
0.800	0.0047
0.855	0.0053
0.886	0.0058
0.941	0.0063
0.951	0.0068
0.991	0.0074
1.058	0.0079
1.078	0.0084
1.100	0.0089
1.139	0.0095
1.206	0.0100
1.254	0.0105
1.434	0.0111
1.452	0.0116
1.489	0.0121
1.466	0.0126
1.479	0.0132

Anexo G. Datos de ensayos a compresión de muretes

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.6503	0.0182	0.6467	0.0182
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.6587	0.0182	0.6188	0.0182
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.6137	0.0182	0.6450	0.0182
Ubicación Adobera:				0.6037	0.0182	0.6283	0.0182
Sígsig				0.6063	0.0182	0.6270	0.0182
Ubicación Ensayos:				0.6172	0.0182	0.6167	0.0182
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.6092	0.0182	0.6542	0.0182
Fecha:				0.6492	0.0182	0.6515	0.0182
Tipo de Ensayo:				0.6158	0.0182	0.6143	0.0182
Ensayos de compresión de Murete M1				0.6038	0.0182	0.6310	0.0182
Datos de la Muestra				0.6512	0.0182	0.6693	0.0182
Longitud	L	40.0	cm	0.6115	0.0182	0.6388	0.0182
Ancho	a	20.0	cm	0.6230	0.0182	0.6130	0.0182
Altura	b	56.0	cm	0.6435	0.0182	0.6650	0.0182
Área	AREA	800.0	cm ²	0.6475	0.0182	0.6258	0.0182
Área	AREA	0.08	m ²	0.6132	0.0182	0.6240	0.0182
MURETE 1				0.6598	0.0182	0.6102	0.0182
				0.6192	0.0182	0.6398	0.0182
				0.6260	0.0182	0.6310	0.0182
				0.6577	0.0182	0.6807	0.0182
				0.6328	0.0182	0.6623	0.0182
				0.6340	0.0182	0.6200	0.0182
				0.6487	0.0182	0.6162	0.0182
				0.6268	0.0182	0.6568	0.0182
				0.6607	0.0182	0.6162	0.0182
				0.6510	0.0182	0.5965	0.0182

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				0.4315	0.0123	0.5642	0.0168
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				0.4545	0.0123	0.6032	0.0168
Pizarro Carchi Diego Raúl				0.4335	0.0127	0.5638	0.0168
Ubicación Adobera:				0.4765	0.0130	0.6028	0.0168
Sígsig				0.4765	0.0130	0.6040	0.0171
Ubicación Ensayos:				0.4695	0.0130	0.6040	0.0171
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				0.4763	0.0130	0.6242	0.0171
Fecha:				0.4253	0.0134	0.5948	0.0175
Tipo de Ensayo:				0.4438	0.0134	0.6300	0.0175
Ensayos de compresión de Murete M2				0.4438	0.0134	0.5822	0.0175
Datos de la muestra				0.4943	0.0138	0.5822	0.0175
Longitud	L	40.0	cm	0.4943	0.0138	0.6283	0.0175
Ancho	a	20.0	cm	0.4487	0.0143	0.6283	0.0175
Altura	b	56.0	cm	0.4667	0.0143	0.5972	0.0175
Área	AREA	800.0	cm ²	0.4953	0.0146	0.5945	0.0175
Área	AREA	0.08	m ²	0.4635	0.0146	0.5945	0.0175
				0.4635	0.0146	0.5740	0.0175
				0.4922	0.0146	0.5740	0.0175
				0.5357	0.0150	0.6107	0.0175
				0.5357	0.0150	0.5922	0.0175
				0.5237	0.0150	0.5922	0.0175
				0.5205	0.0154	0.6228	0.0175
				0.5205	0.0154	0.6228	0.0175
				0.5142	0.0154	0.5913	0.0175
				0.5142	0.0154	0.5663	0.0175
				0.5150	0.0157	0.5663	0.0175

MURETE 2

Anexo H. Datos de ensayos a compresión diagonal de murete

ANÁLISIS PARAMÉTRICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE ADOBE				Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
Ensayos Elaborado por:				4.6442	0.0228	5.2233	0.0245
Arcentález Astudillo Cristina Estefanía				4.6133	0.0228	5.2417	0.0245
Pizarro Carchi Diego Raúl				4.6267	0.0228	5.0942	0.0245
Ubicación Adobera:				4.6425	0.0228	5.2450	0.0245
Sígsig				4.6425	0.0228	5.2450	0.0245
Ubicación Ensayos:				4.9342	0.0231	5.3850	0.0248
Laboratorio Mecánica de Suelos, Universidad de Cuenca				5.0600	0.0231	5.5442	0.0248
Fecha:				4.8433	0.0231	5.4108	0.0248
Tipo de Ensayo:				4.9925	0.0231	5.3267	0.0248
Ensayos de compresión de Murete M2				4.9925	0.0231	5.2000	0.0248
Datos de la muestra				4.8300	0.0231	5.2383	0.0248
Longitud	L	57.0	cm	4.8300	0.0231	5.2383	0.0248
Ancho	a	20.0	cm	4.8300	0.0231	5.1950	0.0248
Altura	b	58.0	cm	5.1258	0.0234	5.3308	0.0252
Diagonal	D	81.0	cm	5.1258	0.0234	5.2633	0.0252
Área	AREA	120.0	cm ²	5.0650	0.0234	5.2450	0.0252
Área	AREA	0.01	m ²	5.0650	0.0234	5.4958	0.0252
Murete 1				5.1650	0.0234	5.3325	0.0252
				4.9075	0.0234	5.1933	0.0252
				4.9075	0.0234	5.1767	0.0252
				5.0658	0.0238	5.2775	0.0252
				4.9100	0.0238	5.2183	0.0255
				4.9100	0.0238	5.4317	0.0255
				5.1408	0.0238	5.5767	0.0255
				5.1875	0.0241		