

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA

PROTOTIPO DE MURO DE ADOBE PARA EL USO EN VIVIENDAS SOCIALES EN LA PARROQUIA RICAURTE

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

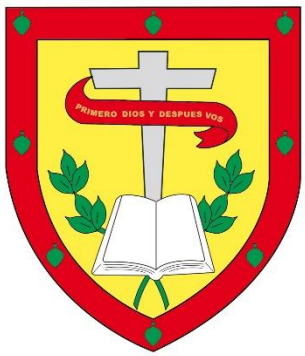
AUTOR: CÉSAR HUMBERTO VERDUGO BARAHONA

DIRECTOR: JUAN FELIPE QUESADA MOLINA

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y CONSTRUCCION

CARRERA DE ARQUITECTURA

PROTOTIPO DE MURO DE ADOBE PARA EL USO EN VIVIENDAS SOCIALES EN LA PARROQUIA RICAURTE

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

AUTOR: CÉSAR HUMBERTO VERDUGO BARAHONA

DIRECTOR: JUAN FELIPE QUESADA MOLINA

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

César Humberto Verdugo Barahona portador de la cédula de ciudadanía Nº 0107167736. Declaro ser el autor de la obra: "Prototipo de muro de adobe para el uso en viviendas sociales en la parroquia Ricaurte", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 14 de Octubre de 2026

F: .....

César Humberto Verdugo Barahona

0107167736

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por César Humberto Verdugo Barahona, bajo mi supervisión.



Arq. Juan Felipe Quesada Molina, PhD.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron durante esta etapa tan importante de mi vida.

A mi madre, por ser siempre mi mano derecha, por estar presente en cada momento y brindarme su apoyo incondicional. A mi padre, por respaldarme constantemente y ayudarme en todo lo que necesité para poder seguir adelante y alcanzar esta meta.

A mi abuela Bertha, por su cariño, apoyo y compañía durante todo mi proceso de formación. A mi familia, por confiar en mí y acompañarme a lo largo de este camino. A mi abuelo Humberto y a mi abuelita Marina, quienes desde el cielo sé que comparten conmigo la alegría de haber alcanzado una meta más; gracias por todo el amor y por haber estado siempre presentes en mi vida.

A mi segundo padre, Abelito, quien también me acompaña desde el cielo. Gracias por haber estado junto a mí en algunos de los momentos más difíciles de mi carrera, por tus consejos y, sobre todo, por enseñarme que todo aquello que se hace con amor y dedicación siempre vale la pena.

A María Paz, mi novia, por su compañía, comprensión, paciencia y palabras de ánimo, tanto en los buenos momentos como en aquellos en los que el camino se volvió más difícil.

A mis amigos, por las risas, las experiencias compartidas y por hacer que esta etapa universitaria esté llena de recuerdos que siempre llevaré conmigo. Gracias también por sus palabras de apoyo y por estar presentes cuando más lo necesité.

Finalmente, agradezco a todos mis profesores, quienes, a través de sus conocimientos, enseñanzas y experiencias, contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional y personal.

RESUMEN

La construcción con adobe conserva un importante valor cultural y constructivo en la Sierra ecuatoriana, aunque su uso ha disminuido por la percepción de debilidad de la tierra cruda y sus limitaciones frente a la humedad, la fisuración y los sismos. Por ello, se requieren alternativas naturales y económicas para la vivienda social. Se planteó como objetivo analizar el comportamiento mecánico de adobes con mucílago de aloe vera como aditivo natural, para proponer una alternativa destinada a viviendas de interés social en Ricaurte, Cuenca. Se desarrolló un estudio experimental y descriptivo con 20 unidades elaboradas con tierra, distribuidas en cuatro dosificaciones de aloe vera (0 %, 5 %, 10 % y 15 %), con cinco muestras por grupo, sometidas a ensayos de compresión. Los resultados evidenciaron que el adobe sin aditivo alcanzó la mayor resistencia promedio (9,94 kg/cm²), frente a las mezclas con 5 % (9,40), 10 % (9,56) y 15 % (9,62). Aunque el aloe vera no incrementó la resistencia máxima, la dosificación del 15 % presentó el mejor comportamiento integral, con menor dispersión y una falla progresiva. Con esta mezcla se construyó un módulo experimental de muro reforzado como aporte técnico y sostenible para la vivienda social.

Palabras clave: adobe, aloe vera, vivienda social, resistencia, aditivo.

ABSTRACT

Adobe construction retains significant cultural and building value in the Ecuadorian highlands, although its use has declined due to the perception that raw earth is a weak material and its limitations in terms of moisture, cracking, and seismic activity. Therefore, affordable and natural alternatives for social housing are needed. This study aimed to analyze the mechanical behavior of adobe bricks incorporating aloe vera mucilage as a natural additive, in order to propose an alternative for social housing in Ricaurte, Cuenca. An experimental and descriptive study was conducted using 20 earth-based units divided into four aloe vera dosage groups (0%, 5%, 10%, and 15%), with five specimens per group, which underwent compressive strength tests. The results showed that adobe without additives achieved the highest average compressive strength (9.94 kg/cm²), compared with the mixtures containing 5% (9.40 kg/cm²), 10% (9.56 kg/cm²), and 15% (9.62 kg/cm²) aloe vera mucilage. Although aloe vera did not increase maximum compressive strength, the 15% dosage demonstrated the best overall performance, with lower variability and progressive failure. An experimental reinforced wall module was constructed using this mixture, providing a technical and sustainable contribution to social housing.

Keywords: adobe, aloe vera, social housing, strength, additive.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN ..... **- 4 -**

AGRADECIMIENTOS ..... **- 5 -**

RESUMEN ..... **- 6 -**

ABSTRACT ..... **- 7 -**

ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... **- 8 -**

LISTA DE FIGURAS ..... **- 11 -**

LISTA DE TABLAS ..... **- 13 -**

LISTA DE ANEXOS ..... **- 14 -**

CAPÍTULO I ..... **- 15 -**

1. INTRODUCCIÓN ..... **- 15 -**

CAPÍTULO II ..... **- 18 -**

2. REVISIÓN DE LITERATURA ..... **- 18 -**

2.1 HISTORIA DEL ADOBE ..... - 18 -

2.1.1 Panorama mundial ..... *- 18 -*

2.1.2 América Latina ..... *- 19 -*

2.1.3 Ecuador ..... *- 19 -*

2.1.4 Cuenca (Azuay) ..... *- 20 -*

2.1.5 Contexto territorial: parroquia Ricaurte ..... *- 21 -*

2.2 PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN DEL ADOBE ..... - 23 -

2.2.1 Composición básica: tierra, agua y fibras naturales ..... *- 23 -*

2.2.2 Propiedades físicas, térmicas y mecánicas ..... *- 24 -*

2.2.3 Factores que afectan su durabilidad y comportamiento estructural ..... *- 25 -*

2.3 NORMATIVA ECUATORIANA Y PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN. ..... - 26 -

2.3.1 Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) con construcción en Tierra. ..... *- 26 -*

2.3.2 Contexto y aplicación normativa ..... *- 26 -*

2.3.3 Principios técnicos y estructurales ..... *- 27 -*

2.3.4 Vivienda social, sostenibilidad y tecnologías apropiadas ..... *- 28 -*

2.3.5 Norma Peruana E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada ..... *- 28 -*

2.3.6 Filosofía de diseño sismorresistente ..... *- 30 -*

2.3.7 Requisitos de materiales y ensayos ..... *- 30 -*

2.3.8 Criterios estructurales y refuerzo ..... *- 30 -*

2.3.9 Cimiento de piedra tipo pirca ..... *- 31 -*

2.3.10 Sobrecimiento ..... *- 31 -*

2.3.11 Zócalo de piedra o laja ..... *- 32 -*

2.3.12 Muro de adobe reforzado ..... *- 33 -*

2.3.13 Enlucido impermeable y protección superficial ..... *- 34 -*

2.3.14 Drenaje perimetral y pendiente exterior ..... *- 35 -*

2.3.15 Obras patrimoniales de tierra ..... *- 36 -*

2.3.16 Aplicabilidad en el contexto ecuatoriano ..... *- 36 -*

2.4 INCORPORACIÓN DE ADITIVOS NATURALES Y ORGÁNICOS ..... - 37 -

2.4.1 Estudios y experiencias previas con mucílago de nopal, linaza o aloe vera ..... *- 37 -*

2.4.2 Ventajas comparativas entre aditivos naturales. ..... *- 39 -*

2.5 EL MUCÍLAGO DE ALOE VERA COMO ADITIVO NATURAL ..... - 41 -

2.5.1 Características químicas y físicas del aloe vera ..... *- 41 -*
2.5.2 Propiedades aglutinantes e impermeabilizantes del mucílago ..... *- 43 -*
2.5.3 Estudios e investigaciones que respaldan su aplicación ..... *- 43 -*
2.6 PROTOTIPADO Y DISEÑO CONSTRUCTIVO DEL MURO DE ADOBE MEJORADO ..... - 44 -
2.7 SISTEMA CONSTRUCTIVO EN ADOBE REFORZADO ..... - 44 -

3. MATERIALES Y MÉTODOS ..... - 46 -

3.1 ELABORACIÓN DE ADOBES DE ESTUDIO ..... - 46 -
3.2 MATERIALES UTILIZADOS ..... - 46 -
3.3 PREPARACIÓN Y EMPLEO DEL MUCÍLAGO DE ALOE VERA ..... - 49 -
3.4 DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ..... - 50 -
3.5 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ..... - 52 -
3.6 MOLDEADO DE LOS ADOBES ..... - 54 -
3.7 SECADO DE LOS ADOBES ..... - 55 -
3.8 TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS ..... - 56 -
3.9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ..... - 56 -
3.9.1 Equipo y procedimiento de ensayo ..... *- 56 -*
3.9.2 Cálculo de la resistencia a compresión ..... *- 58 -*

CAPÍTULO IV ..... - 60 -

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... - 60 -

4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LÍMITES DE ATTERBERG DEL SUELO UTILIZADO ..... - 60 -
4.1.1 Contenido de humedad ..... *- 60 -*
4.1.2 Análisis granulométrico ..... *- 61 -*
4.1.3 Límites de Atterberg ..... *- 62 -*
4.1.4 Clasificación SUCS ..... *- 62 -*
4.2 DIMENSIONES Y PESO DE LAS MUESTRAS. ..... - 64 -
4.3 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ..... - 65 -
4.3.1 Adobe patrón sin aditivo 0% de aloe vera ..... *- 66 -*
4.3.2 Adobe con 5% de aloe vera ..... *- 68 -*
4.3.3 Adobe con 10% de aloe vera ..... *- 70 -*
4.3.4 Adobe con 15% de aloe vera ..... *- 72 -*
4.3.5 Comparación de promedios entre dosificaciones ..... *- 74 -*
4.4 ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE RESULTADOS ..... - 75 -
4.4.1 Comportamiento mecánico durante la falla ..... *- 76 -*
4.4.2 Comportamiento estructural ..... *- 76 -*
4.4.3 Determinación de la dosificación óptima ..... *- 77 -*
4.4.4 Relación entre las propiedades del suelo y la resistencia ..... *- 80 -*
4.5 ELABORACIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL DE MURO DE ADOBE CON 15% DE MUCÍLAGO DE ALOE VERA. ..... - 81 -
4.5.1 Objetivo del módulo experimental ..... *- 81 -*
4.5.2 Criterios normativos considerados ..... *- 82 -*
4.5.3 Dimensiones generales del módulo ..... *- 83 -*
4.5.4 Preparación del mortero de barro ..... *- 85 -*
4.5.5 Preparación de los adobes antes del asentamiento ..... *- 87 -*
4.5.6 Base y sobrecimiento ..... *- 87 -*
4.5.7 Colocación de la primera hilada ..... *- 89 -*
4.5.8 Aparejo y trabado de los adobes ..... *- 89 -*
4.5.9 Control de niveles, plomada y juntas ..... *- 90 -*
4.5.10 Incorporación de refuerzos de carrizo ..... *- 91 -*
4.5.11 Viga collar superior ..... *- 93 -*
4.5.12 Revoque de barro con paja y estiércol de caballo ..... *- 94 -*

4.5.13 Secado y protección del módulo ..... *- 95 -*
4.6 EVALUACIÓN CONSTRUCTIVA DEL MURETE TERMINADO ..... - 96 -
4.7 PRESUPUESTO REFERENCIAL ..... - 99 -
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... **- 102 -**
RECOMENDACIONES ..... **- 105 -**
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... **- 107 -**
ANEXOS ..... **- 113 -**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Arg-e Bam, la ciudad más grande construida en ladrillos crudos. [imagen]. - 18 -
Figura 2 Complejo Arqueológico de Chan Chan, Perú. [imagen]. - 19 -
Figura 3 Casa de la Loma [imagen]. - 20 -
Figura 4 Vivienda de adobe en Azuay, Susudel. [imagen]. - 21 -
Figura 5 Iglesia de San Carlos, Ricaurte construida con adobe. - 23 -
Figura 6 Restauración estructural del adobe y geomalla, por 123cua Arquitectos. [imagen]. - 26 -
Figura 7 Colocación de viga collar in situ. [imagen]. - 27 -
Figura 8 Esquema de cimentación de una edificación de tierra reforzada. [imagen]. - 29 -
Figura 9 Cimiento de piedra tipo pirca. [imagen]. - 31 -
Figura 10 Sobrecimiento de piedra en muro de adobe. [imagen]. - 32 -
Figura 11 Técnicas para el sobrecimiento, colocación de zócalo de piedra. [imagen]. - 33 -
Figura 12 Murete elaborado de 40 cm [imagen]. - 33 -
Figura 13 Murete elaborado con el sistema de Drizas. [imagen]. - 34 -
Figura 14 Colocación de fibras naturales en revoque de muro de adobe. [imagen]. - 35 -
Figura 15 Drenaje y humedad por capilaridad. [imagen]. - 35 -
Figura 16 Vivienda de adobe en la parroquia rural de Susudel [imagen]. - 36 -
Figura 17 Planta de aloe vera. [imagen]. - 41 -
Figura 18 Test de pH de aloe vera. [imagen]. - 42 -
Figura 19 Adobera medidas [imagen]. - 46 -
Figura 20 Extracción de la tierra para el adobe en la parroquia de San Bartolomé. - 47 -
Figura 21 Colocación de agua en la mezcla para su plasticidad correcta. - 47 -
Figura 22 Imagen con fibras naturales de paja para la colocación de los adobes. [imagen]. - 48 -
Figura 23 Mucílago de aloe vera después de 1 día de su elaboración. [imagen]. - 48 -
Figura 24 Extracción del mucílago de la planta de aloe vera. [imagen]. - 49 -
Figura 25 Separación y filtración del mucílago y la pulpa del aloe vera. [imagen]. - 49 -
Figura 26 Unión del mucílago con la mezcla y elaboración de adobe [imagen]. - 50 -
Figura 27 Curado y secado del adobe. [imagen]. - 50 -
Figura 28 Preparación de la mezcla [imagen]. - 52 -
Figura 29 Mezclado y unión de materiales pisando para la elaboración de la mezcla de adobe. [imagen]. - 53 -
Figura 30 Mezclado y unión de materiales pisando para la elaboración de la mezcla de adobe ya con fibras naturales[imagen]. - 53 -
Figura 31 Colocación de la mezcla en la adobera. [imagen]. - 54 -
Figura 32 Elaboración del bloque de adobe. [imagen]. - 54 -
Figura 33 Adobes realizados. [imagen]. - 55 -
Figura 34 Muestra de adobes. [imagen]. - 56 -
Figura 35 Adobes en laboratorio. [imagen]. - 56 -
Figura 36 Humboldt Manual de 300 000 lbs. [imagen]. - 57 -
Figura 37 Muestra de laboratorio de adobe. [imagen]. - 64 -
Figura 38 Pesaje de cada bloque de adobe. [imagen]. - 65 -
Figura 39 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con diferentes dosificaciones de aloe vera. [imagen]. - 66 -
Figura 40 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 0% aditivo natural de aloe vera. [imagen]. - 67 -
Figura 41 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 5% aditivo natural de aloe vera. [imagen]. - 69 -
Figura 42 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 10% aditivo natural de aloe vera. [imagen]. - 71 -

Figura 43 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 15% aditivo natural de aloe vera. [imagen]. ..... *- 73 -*
Figura 44 Curvas de promedio de resistencia a compresión de las muestras de adobe con aditivo natural de aloe vera. [imagen]. ..... *- 75 -*
Figura 45 Detalle de colocación de mortero de tierra y bloque de adobe. [imagen]. ..... *- 84 -*
Figura 46 Detalle de colocación de bloques sobre sobrecimiento de piedra, propuesta para vivienda. [imagen]. ..... *- 84 -*
Figura 47 Elaboración de adobe. [imagen]. ..... *- 85 -*
Figura 48 Secado de bloques de adobe. [imagen]. ..... *- 86 -*
Figura 49 Colocación en traba de adobes para la elaboración del murete [imagen]. ..... *- 86 -*
Figura 50 Humectación de bloques para la adherencia de bloque con bloque. [imagen]. ..... *- 87 -*
Figura 51 Detalle de colocación del carrizo en murete. [imagen]. ..... *- 88 -*
Figura 52 Elaboración del murete de adobe. [imagen]. ..... *- 89 -*
Figura 53 Murete sin acabados. [imagen]. ..... *- 90 -*
Figura 54 Dimensión de las trabas para colocación del mortero. [imagen]. ..... *- 91 -*
Figura 55 Colocación de mortero. [imagen]. ..... *- 93 -*
Figura 56 Detalle de muro de adobe con refuerzos y sobrecimiento, propuesta para vivienda. [imagen]. ..... *- 94 -*
Figura 57 Colocación del revoque de tierra en el murete. [imagen]. ..... *- 95 -*
Figura 58 Secado del murete hecho su revoque. [imagen]. ..... *- 96 -*

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas comparativas entre aditivos naturales _____ *- 39 -*
Tabla 2 Tabla con Estudios e investigaciones que respaldan su aplicación _____ *- 44 -*
Tabla 3 Tabla con análisis granulométrico comparativo con las diferentes dosificaciones de aloe vera. _____ *- 61 -*
Tabla 4 Tabla comparativa de los límites líquidos, plásticos LP y IP de las diferentes muestras de adobe con aloe vera. _____ *- 62 -*
*Tabla 5 Resultados del ensayo de resistencia a compresión de adobes con diferentes porcentajes de aloe vera.*_____ *- 66 -*
Tabla 6 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 0% de aditivo natural de aloe vera. _____ *- 66 -*
Tabla 7 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 5% de aditivo natural de aloe vera. _____ *- 68 -*
*Tabla 8 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 10% de aditivo natural de aloe vera.*_____ *- 70 -*
*Tabla 9 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 15% de aditivo natural de aloe vera.*_____ *- 72 -*
Tabla 10 Estadística descriptiva de la resistencia a compresión por dosificación. _____ *- 75 -*
*Tabla 11 Tabla de relación entre granulometría, plasticidad y resistencia por dosificación.*___ *- 80 -*
Tabla 12 Comparación del muro propuesto con otras alternativas constructivas _____ *- 98 -*
*Tabla 13 Presupuesto referencial de 1 m² de muro de adobe con 15 % de mucílago de aloe vera*_ *- 100 -*

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Test Adobe Resistencia 0_1. _____ *- 113 -*
Anexo 2 Test Adobe Resistencia 0_2. _____ *- 115 -*
Anexo 3 Test Adobe Resistencia 0_3. _____ *- 117 -*
Anexo 4 Test Adobe Resistencia 0_4. _____ *- 119 -*
Anexo 5 Test Adobe Resistencia 0_5. _____ *- 121 -*
Anexo 6 Test Adobe Resistencia 5_1. _____ *- 123 -*
Anexo 7 Test Adobe Resistencia 5_2 _____ *- 125 -*
Anexo 8 Test Adobe Resistencia 5_3 _____ *- 127 -*
Anexo 9 Test Adobe Resistencia 5_4 _____ *- 129 -*
Anexo 10 Test Adobe Resistencia 5_5 _____ *- 131 -*
Anexo 11 Test Adobe Resistencia 10_1. _____ *- 133 -*
Anexo 12 Test Adobe Resistencia 10_2 _____ *- 136 -*
Anexo 13 Test Adobe Resistencia 10_3. _____ *- 139 -*
Anexo 14 Test Adobe Resistencia 10_4. _____ *- 141 -*
Anexo 15 Test Adobe Resistencia 10_5. _____ *- 143 -*
Anexo 16 Test Adobe Resistencia 15_1. _____ *- 146 -*
Anexo 17 Test Adobe Resistencia 15_2. _____ *- 150 -*
Anexo 18 Test Adobe Resistencia 15_3. _____ *- 153 -*
Anexo 19 Test Adobe Resistencia 15_4 _____ *- 156 -*
Anexo 20 Test Adobe Resistencia 15_5. _____ *- 159 -*

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La construcción con tierra forma parte de la historia arquitectónica de numerosas regiones del mundo y sigue presente en distintos contextos rurales de América Latina. En Ecuador, particularmente en la Sierra, el adobe ha sido uno de los materiales más utilizados debido a su disponibilidad, bajo costo, facilidad de fabricación y buen comportamiento térmico. No obstante, pese a estas ventajas ambientales y económicas, su uso ha ido disminuyendo progresivamente frente a la expansión de materiales industrializados y a la percepción de que la tierra cruda constituye un sistema constructivo débil o poco seguro.

En Cuenca y sus parroquias rurales todavía se encuentran viviendas construidas con adobe, muchas de ellas asociadas a técnicas tradicionales transmitidas de forma empírica. Este material conserva un valor cultural y constructivo importante, pero también presenta limitaciones frente a la humedad, la fisuración y los esfuerzos sísmicos, sobre todo cuando no se aplica un proceso adecuado de selección del suelo, secado, refuerzo y protección del muro. De ahí que resulte necesario explorar alternativas de mejoramiento del adobe que permitan recuperar su uso desde una perspectiva más técnica, sostenible y compatible con la vivienda social.

Entre las alternativas naturales para mejorar el comportamiento de los materiales de tierra, el mucílago de aloe vera representa una opción accesible en el contexto ecuatoriano. Su consistencia viscosa y su capacidad aglutinante permiten plantearlo como un estabilizante natural que puede incorporarse a la mezcla del adobe sin alterar de forma significativa el proceso tradicional de fabricación. A diferencia de los estabilizantes industriales, este aditivo proviene de una planta de fácil acceso, bajo costo e impacto ambiental reducido.

Esta investigación surge de la necesidad de evaluar si la incorporación de aloe vera puede mejorar el comportamiento mecánico del adobe empleado en viviendas de interés social. Con ese fin, se elaboraron bloques con distintos porcentajes de aditivo natural, tomando como referencia la cantidad de agua utilizada en la mezcla. Las dosificaciones evaluadas fueron 0 %, 5 %, 10 % y 15 %, con cinco muestras por cada grupo. Posteriormente, los adobes se sometieron a ensayos de resistencia a compresión, con el propósito de comparar su desempeño y determinar cuál de las mezclas ofrecía mejores condiciones para su aplicación constructiva.

El objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento mecánico de bloques de adobe elaborados con mucílago de aloe vera como aditivo natural, con miras a proponer una alternativa constructiva aplicable a viviendas de interés social en la parroquia Ricaurte. Para lograrlo, se caracterizó el suelo utilizado, se elaboraron muestras con diferentes dosificaciones, se realizaron los ensayos de compresión correspondientes y se construyó un módulo experimental de muro con la mezcla que mostró el mejor desempeño integral.

La metodología empleada fue de tipo experimental y descriptivo. En primer lugar, se elaboraron los adobes en el sector de San Bartolomé, utilizando tierra local, agua, paja y mucílago de aloe vera. Las unidades se secaron después de forma natural y se trasladaron al laboratorio Geo Test, en Cuenca, donde fueron medidas, pesadas y ensayadas a compresión. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se seleccionó la dosificación del 15 % de aloe vera para elaborar un prototipo experimental de muro reforzado, tomando como referencia los criterios de construcción en tierra establecidos en la Norma Peruana E.080.

El principal aporte de este trabajo consiste en demostrar que el aloe vera no incrementa necesariamente la resistencia máxima del adobe, pero sí mejora aspectos relevantes de su comportamiento mecánico, como la uniformidad entre muestras, la cohesión interna y la

resistencia residual después del punto de falla. Esta lectura permite comprender el material no solo a partir de la carga máxima que soporta, sino desde su comportamiento integral dentro de un sistema constructivo. De este modo, la investigación busca aportar a la recuperación técnica del adobe como alternativa sostenible, económica y viable para viviendas sociales en contextos rurales de Cuenca.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia del adobe

2.1.1 Panorama mundial

El uso de la tierra como material constructivo se remonta a milenios y se ha documentado en asentamientos prehistóricos y ciudades históricas del Cercano Oriente y Asia. En Irán, la ciudadela de Arg-é Bam presenta edificaciones de tierra con más de 2.500 años de antigüedad, evidencia de una tradición tecnológica consolidada desde épocas tempranas (UNESCO World Heritage Centre, s.f.-a).

La construcción en tierra alcanzó soluciones urbanas de gran altura; un caso paradigmático es Shibam (Yemen), reconocida por la UNESCO por su tejido de "rascacielos de adobe", que ilustra la madurez técnica y urbana del material (UNESCO World Heritage Centre, s.f.-c).



Figura 1 Arg-e Bam, la ciudad más grande construida en ladrillos crudos. [imagen].

Fuente: UNESCO World Heritage Centre. https://es.irancultura.it/turismo/atracciones/atracciones-Kerman/Kerman-Arg-e-Bam/

2.1.2 América Latina

En Sudamérica, el adobe que resulta de la mezcla de arcilla, arena, agua y fibras vegetales ha sido fundamental en la vivienda, arquitectura ceremonial, con desempeños térmicos favorables y bajo requerimiento energético en su producción. Su versatilidad permitió soluciones de notable escala y adaptación climática, aunque con desafíos de durabilidad frente a la humedad si no hay protección o mantenimiento adecuados (Minke, 1994; Pacheco-Torgal & Jalali, 2012). Un referente mayor del patrimonio en tierra de la región es Chan Chan (Perú), la ciudad de barro prehispánica más extensa de América, cuya monumentalidad resume la pericia técnica y organizativa precolombina (UNESCO World Heritage Centre, s.f.-b).



Figura 2 Complejo Arqueológico de Chan Chan, Perú. [imagen].

Fuente: Chan Chan, La Ciudad de Adobe más grande de América https://www.camepe.com/chan-chan-la-ciudad-de-adobe-mas-grande-de-america/

2.1.3 Ecuador

Hasta fines del siglo XX, la construcción tradicional en tierra (adobe,tapial y bahareque) fue difundida en amplias zonas del país. El Censo 2010 registró aproximadamente 120.553 viviendas en adobe o tapial (2,5% del total nacional) (INEC, 2010). A la par, el proceso de modernización constructiva y la difusión de materiales industrializados han reducido la participación de la tierra cruda, fenómeno señalado por distintos autores en el contexto ecuatoriano reciente (Lara, 2017).



Figura 3 Casa de la Loma [imagen].

Fuente: Crespo, S, 2013 https://www.ivanquizhpe.com/casa-de-la-loma

2.1.4 Cuenca (Azuay)

Cuenca conserva una tradición centenaria de arquitectura en adobe, fuertemente vinculada a su desarrollo urbano e identidad patrimonial. Diversos estudios locales indican que, dentro del cantón, las viviendas en adobe constituyen históricamente el segundo sistema constructivo más extendido solo por detrás de la mampostería de ladrillo/bloque lo que subraya su peso en el paisaje edificado y en la memoria material de la ciudad (Orellana, 2017).

El Centro Histórico de Cuenca, declarado Patrimonio de la Humanidad (1999), ofrece ejemplos representativos de muros portantes en adobe y técnicas asociadas, y constituye un laboratorio vivo para el estudio y la conservación de esta cultura constructiva (Orellana, 2017).



Figura 4 Vivienda de adobe en Azuay, Susudel. [imagen].

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5 Contexto territorial: parroquia Ricaurte

Ricaurte es una parroquia rural del cantón Cuenca situada al noreste de la ciudad (El Universo, 2020). Limita al norte con la parroquia Sidcay, al este con Llacao y al sur y al oeste con el área urbana de Cuenca, y ocupa una superficie aproximada de 14 km², la menor entre las parroquias rurales del cantón (GAD Parroquial de Ricaurte, 2015). Pese a su reducido tamaño, es una de las parroquias rurales más pobladas del cantón y una de las de mayor crecimiento.

Su población pasó de 14.006 habitantes en 2001 a 19.361 en 2010 y a 26.919 en 2022 (INEC, 2001, 2010, 2023); es decir, casi se duplicó en dos décadas. Entre 2001 y 2010 creció a una tasa anual del 3,7 %, catalogada como de alto crecimiento, y en 2010 era ya una de las cuatro parroquias rurales del cantón con más de 15.000 habitantes (Hidalgo & Ramos, 2024). Entre 2010 y 2022 el ritmo se moderó a cerca del 2,8 % anual, pero la densidad siguió en aumento hasta rondar los 1.900 habitantes por km², un valor más propio de un barrio periurbano que de una parroquia agrícola.

Este crecimiento responde a la expansión de la ciudad. La cabecera parroquial, al norte del río Machángara, está prácticamente fusionada con el área urbana de Cuenca y tiene escasas limitaciones para seguir creciendo (Terraza et al., 2014, como se citó en Hidalgo & Ramos, 2024). En Cuenca, la demanda y el encarecimiento del suelo urbano han desplazado población hacia la periferia, y en Ricaurte se han formado centralidades comerciales y de servicios dentro de un entorno que sigue siendo predominantemente rural (Hidalgo & Ramos, 2024). La parroquia conserva, además, prácticas comunitarias como la minga (El Universo, 2020), un rasgo valioso para la vivienda social, donde la autoconstrucción asistida depende de la organización de las familias y los vecinos.

La presión sobre la vivienda no es reciente. Ya en 2001, de las 3.251 viviendas de la parroquia, 306 eran mediaguas, ranchos, covachas o chozas, es decir, más del 9 % del total (INEC, 2001). En un territorio que sumó casi 13.000 habitantes en dos décadas, la vivienda económica y de calidad sigue siendo una necesidad central.

La tierra cruda forma parte de la historia constructiva de la parroquia. El cuerpo de la iglesia de San Carlos, frente a la plaza central, está construido en adobe, mientras que su torre es de ladrillo (Parroquias de Cuenca, 2016), una combinación que resume el paso de la tierra a los materiales cocidos. Ese paso es general en la Sierra ecuatoriana: en 2010 el adobe, el tapial y el bahareque representaban apenas el 7,76 % de las construcciones rurales del país, y el conocimiento constructivo en tierra se ha desplazado hacia materiales alternativos como el bloque de hormigón (Lara & Bustamante, 2022). En una parroquia que se urbaniza con rapidez y con esos materiales, recuperar el adobe con criterios técnicos permite ofrecer una alternativa de bajo costo, con materiales del lugar y coherente con su tradición constructiva.

Esa recuperación debe responder a la amenaza sísmica. La Norma Ecuatoriana de la Construcción cataloga la Sierra como zona de amenaza sísmica alta (MIDUVI, 2014a), y

Cuenca se encuentra en una zona sísmica de alto riesgo (Jiménez et al., 2018). En las construcciones de tierra de la región, la falta de viga collar, de cimentación y de arriostramiento aumenta el riesgo de colapso, y la normativa ecuatoriana no incluye disposiciones específicas para el adobe (Lara & Bustamante, 2022). Por ello, el sistema propuesto en esta investigación incorpora refuerzos horizontales y verticales y viga collar, conforme a la Norma E.080 (MVCS, 2017).

En cuanto al aditivo, el aloe vera es una especie introducida cuyo cultivo comercial en Ecuador se concentra en Guayas y Los Ríos, en la Costa, y en Chimborazo, Bolívar, Imbabura, Pichincha y Tungurahua, en la Sierra (Villacrés & Zambrano, 2006). La planta se vende en los mercados de Cuenca, como la feria de El Arenal, donde se adquirió la utilizada en esta investigación, de modo que el aditivo está disponible dentro del mismo cantón.



Figura 5 Iglesia de San Carlos, Ricaurte construida con adobe.

Fuente: Parroquias de Cuenca (2016).
https://parroquiascuenca.wordpress.com/2016/06/25/parroquia-ricaurte/

2.2 Propiedades y composición del adobe

2.2.1 Composición básica: tierra, agua y fibras naturales

Definición: El adobe es un material de construcción ancestral cuyos componentes principales son la tierra arcillosa, el agua y las fibras naturales. Su eficacia está determinada por la proporción entre estos elementos, la granulometría del suelo utilizado y el proceso de secado al que se somete. La Norma E.080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, 2017) establece que el adobe se conforma mediante una mezcla de

arcilla, limo, arena y agua, a la que pueden añadirse fibras vegetales con el fin de controlar la fisuración producida por la retracción del material.

Minke (1994) y Carazas & Rivero (2002) señalan que la arcilla cumple la función de aglutinante, mientras que el limo y la arena aportan cuerpo y estabilidad a la mezcla; el agua, por su parte, otorga la plasticidad necesaria para dar forma al bloque. Por su lado, las fibras naturales (como la paja o la cabuya) ayudan a mejorar la resistencia a la tracción y la cohesión interna del material, reduciendo así la aparición de grietas durante el secado (Haesebrouck & Michiels, 2011). En el contexto local como es en la ciudad de Cuenca, el estudio de Arévalo y Mina (2024), muestra que incorporar fibras orgánicas o estabilizantes naturales aumenta la durabilidad de los adobes ante las condiciones climáticas propias del Austro ecuatoriano.

2.2.2 Propiedades físicas, térmicas y mecánicas

El comportamiento del adobe no es uniforme: depende del tipo de suelo con el que se elabora, de cómo se combinan sus componentes y de qué tan compactado quede el bloque final en la adobera. Dentro de sus propiedades físicas se pueden mencionar la densidad aparente, la porosidad, la plasticidad y la capacidad de absorber agua (Calderón, 2021). En el plano térmico, este material se caracteriza por una inercia térmica elevada: absorbe calor y lo va liberando poco a poco, lo que ayuda a mantener condiciones de confort tanto en ambientes fríos como cálidos (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

En lo mecánico, destacan tres propiedades: la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta y la cohesión del material. La primera está condicionada por la relación entre agua y tierra empleada en la mezcla, así como por el método de secado; la segunda, en cambio, guarda relación directa con la cantidad y la longitud de las fibras incorporadas (Shariful & Iwashita, 2006).

2.2.3 Factores que afectan su durabilidad y comportamiento estructural

Qué tan durable resulte una construcción de adobe depende, sobre todo de tres factores: la exposición del material a agentes externos, el tipo de suelo con el que fue hecho y el mantenimiento que reciba la edificación con el tiempo. Jara, Rodas y Caldas (s.f.) identifican como factores más críticos la humedad, la erosión, los sismos y la falta de mantenimiento adecuado. De estos, la humedad resulta particularmente dañina: cuando satura las partículas de arcilla, disminuye la cohesión del material y este pierde resistencia (Minke, 1994). A esto se suma un problema adicional: el agua que se filtra por capilaridad o cae directamente como lluvia puede disolver las sales contenidas en el adobe, lo que termina desprendiendo la superficie del material e incluso comprometiendo la estructura completa.

La granulometría del suelo y el grado de compactación también inciden en cómo se comportaría el material estructuralmente. Cuando la proporción entre arena, limo y arcilla no es la adecuada, pueden aparecer fisuras o producirse una contracción excesiva durante el secado (Arévalo & Mina, 2024). Esto resulta especialmente relevante en zonas sísmicas como Cuenca, donde el adobe muestra debilidad frente a los esfuerzos de tracción y corte; por ello se sugiere reforzarlo con mallas naturales o poliméricas, e incorporar estabilizantes de origen natural como el mucílago de aloe vera o el nopal (Jara et al., s.f.). Por último, un mantenimiento constante (que incluya revoques de tierra y sistemas de drenaje apropiados es clave para alargar la vida útil de estas construcciones y mantener su integridad estructural).



Figura 6 Restauración estructural del adobe y geomalla, por 123cua Arquitectos. [imagen].

Fuente: (Franco, 2011) https://www.archdaily.com/es/02-112261/en-detalle-restauracion-estructural-del-adobe-y-geomalla-123cua-arquitectos

2.3 Normativa Ecuatoriana y Peruana de la construcción.

2.3.1 Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) con construcción en Tierra.

La Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC) es el marco técnico legal que fija los requisitos mínimos para diseñar, construir, supervisar y dar mantenimiento a las edificaciones dentro del territorio ecuatoriano. Busca asegurar la seguridad estructural, la funcionalidad, la sostenibilidad y la habitabilidad de las construcciones, a la vez que fomenta un uso racional de los materiales y una menor afectación al medio ambiente (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2014b). Como parte de este cuerpo normativo, el documento NEC-SE-VIVIENDA reúne disposiciones orientadas a la vivienda social y rural, entre las que se incluyen aquellas construcciones que emplean materiales tradicionales como el adobe, el tapial o la tierra cruda estabilizada.

2.3.2 Contexto y aplicación normativa

La NEC-SE-VIVIENDA (MIDUVI, 2014b) tiene carácter obligatorio en todo el país y funciona como guía para el diseño y la construcción de viviendas de interés social. Fija criterios técnicos, arquitectónicos y estructurales que deben respetarse desde la planificación del proyecto hasta su ejecución y posterior mantenimiento. Cuando se trata de edificaciones con materiales naturales como la tierra, la norma impulsa la incorporación de tecnologías apropiadas capaces de asegurar tanto la seguridad estructural como la sostenibilidad

ambiental, tomando en cuenta el contexto rural y los recursos disponibles en cada zona (MIDUVI, 2014b).

Este planteamiento coincide con el de la Norma Peruana E.080, ya que ambas normativas consideran a la construcción en tierra como una alternativa viable siempre y cuando se implementen medidas de refuerzo estructural y control de calidad de los materiales. Si bien la NEC no dedica un capítulo específico al adobe, sí exige que toda construcción en tierra cumpla con criterios de estabilidad, resistencia, durabilidad y comportamiento sísmico adecuado.

2.3.3 Principios técnicos y estructurales

La NEC-SE-VIVIENDA (MIDUVI, 2014b) exige que los proyectos habitacionales cumplan con condiciones mínimas de seguridad, funcionalidad y habitabilidad. En su numeral 4.2 se indica que las viviendas deben diseñarse y construirse con materiales capaces de garantizar estabilidad estructural frente a cargas verticales y laterales. En las zonas de mayor sismicidad, se exige que los sistemas constructivos tradicionales incluyan refuerzos horizontales (vigas collar, entrepisos rígidos) y verticales (columnas, contrafuertes), con el fin de prevenir colapsos parciales o totales.



Figura 7 Colocación de viga collar in situ. [imagen].

Fuente: (Adobe Patrimonial, s.f.)
https://www.facebook.com/AdobePatrimonial/posts/dise%C3%B1os-de-refuerzo-estructural-seg%C3%BAn-norma-t%C3%A9cnica-peruana-e080dadas-las-capaci/4528114093921910/

El apartado dedicado a las viviendas rurales y de autoconstrucción recomienda emplear materiales locales (como el adobe, la piedra y la madera), siempre que cumplan los parámetros de resistencia y durabilidad que exige el reglamento. La NEC por otra parte, establece que la cimentación de las edificaciones de tierra debe realizarse sobre suelos firmes, descartando arcillas expansivas o zonas de riesgo geotécnico, en línea con lo que dispone la norma peruana E.080 en su artículo 7.1.

2.3.4 Vivienda social, sostenibilidad y tecnologías apropiadas

La NEC describe a la vivienda social como un derecho ligado a la sostenibilidad y, por ello, promueve tecnologías apropiadas que permitan reducir costos y aprovechar materiales locales. De ahí que se impulse el uso de sistemas constructivos con tierra estabilizada, tapial o adobe mejorado, sobre todo en el ámbito rural, siempre que los materiales pasen por ensayos de resistencia y se complementen con soluciones de refuerzo estructural. Esta orientación guarda relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con las estrategias de arquitectura vernácula adaptada al cambio climático (MIDUVI, 2014b).

2.3.5 Norma Peruana E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada

La Norma Técnica Peruana E.080, "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", es uno de los referentes más relevantes de Latinoamérica en cuanto a regulación técnica de edificaciones con materiales naturales. Aprobada mediante Resolución Ministerial N.º 121-2017-VIVIENDA, forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y sustituyó a la anterior Norma E.080 "Adobe" de 2006. Con ella se adoptó un enfoque integral centrado en la "tierra reforzada", que abarca criterios de diseño sismorresistente, selección de materiales, procedimientos constructivos y conservación patrimonial (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2017).

Según el artículo 1 de la E.080, su aplicación resulta obligatoria en todo el Perú para las edificaciones de tierra reforzada, ya sean de adobe o de tapial. El propósito central de la norma es asegurar la seguridad estructural frente a los sismos, favoreciendo edificaciones económicas, seguras, duraderas y sostenibles. A la vez, impulsa una cultura de prevención de desastres, procurando que las construcciones de tierra respeten las tradiciones locales sin apartarse de los parámetros de la ingeniería estructural moderna (MVCS, 2017).

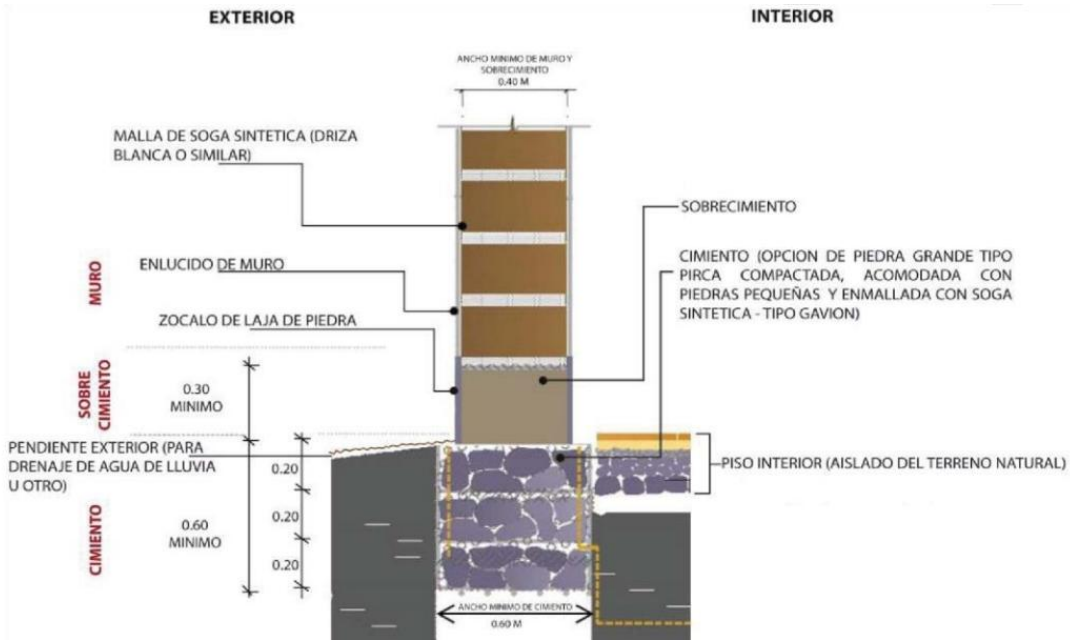


Figura 8 Esquema de cimentación de una edificación de tierra reforzada. [imagen].

Fuente: (MVCS, 2017).

La norma establece que toda edificación de tierra reforzada debe asentarse sobre una base firme y estable, capaz de distribuir correctamente las cargas y de proteger el muro frente a la humedad. La Figura 8 presenta un esquema tipo de cimentación que reúne los elementos necesarios para lograr durabilidad y estabilidad en el sistema constructivo: cimiento, sobrecimiento, zócalo, muro de adobe, enlucido impermeable, drenaje exterior y piso interior aislado (MVCS, 2017).

2.3.6 Filosofía de diseño sismorresistente

La norma se apoya en una filosofía de diseño sismorresistente que define tres niveles de desempeño estructural: ante sismos leves, la edificación puede presentar fisuras menores; ante sismos moderados, fisuras mayores pero reparables; y ante sismos severos, se admite un daño estructural controlado, siempre que no se produzca colapso total ni pérdida de vidas humanas. Con este enfoque se busca que las edificaciones de tierra reforzada disipen la energía sísmica mediante refuerzos horizontales y verticales flexibles, compatibles con las propiedades del material (MVCS, 2017).

2.3.7 Requisitos de materiales y ensayos

El artículo 5 dispone que la tierra empleada debe contener proporciones adecuadas de arcilla, limo y arena, y estar libre de materia orgánica. En los anexos de la norma se incluyen pruebas prácticas para seleccionar el suelo, como la "prueba de cinta de barro" y la "prueba de resistencia seca". El agua utilizada, por su parte, debe estar limpia y libre de sales, y se permite incorporar aditivos naturales (fibras vegetales o mucílagos) para controlar la fisuración durante el secado. Los ensayos de laboratorio definen los esfuerzos de rotura mínimos (artículo 8) y los esfuerzos admisibles (artículo 9), con una resistencia mínima a compresión de 1,0 MPa para las unidades de adobe, ensayadas en cubos de 10 cm (art. 8.1).

2.3.8 Criterios estructurales y refuerzo

La norma también fija condiciones geométricas y estructurales para las edificaciones de tierra reforzada: el espesor mínimo de los muros debe ser de 0.40 metros, con una esbeltez vertical máxima equivalente a seis veces ese espesor y una esbeltez horizontal máxima de diez veces. Se exige, asimismo, incorporar refuerzos verticales (muros transversales o contrafuertes) y horizontales (vigas collar, techos rígidos, entrepisos), manteniendo la continuidad de estos refuerzos en esquinas y vanos (MVCS, 2017).

2.3.9 Cimiento de piedra tipo pirca

La pirca se caracteriza precisamente por utilizar piedras encajadas sin argamasa (Echeverría, 2011). El cimiento es la base estructural del sistema y su función es transmitir las cargas del muro hacia el terreno natural. La norma indica que debe construirse con piedra sin labrar o laja, unida con mortero de barro o cal, y alcanzar una profundidad mínima de 0.60 m junto con un ancho mínimo de 0.60 m, de manera que se garantice la estabilidad y se eviten asentamientos diferenciales (MVCS, 2017, art. 7.1).

Emplear piedra irregular (pirca) favorece un drenaje natural adecuado y una distribución uniforme de las cargas. Este tipo de cimiento, de raíz vernácula, mantiene además una compatibilidad térmica e higroscópica con los materiales de tierra (Minke, 1994).



Figura 9 Cimiento de piedra tipo pirca. [imagen].

Fuente: (Adobe Patrimonial, s.f.) https://www.instagram.com/p/B8euXcPBcit/

2.3.10 Sobrecimiento

Sobre el cimiento se coloca un sobrecimiento o "zócalo estructural" de piedra o concreto ciclópeo, con una altura mínima de 0.30 m y un ancho mínimo de 0.40 m (MVCS, 2017, art. 7.2), cuya función consiste en aislar el muro de adobe de la humedad capilar ascendente y mejorar su resistencia frente a los esfuerzos cortantes generados por los sismos. Este

elemento funciona como barrera física entre el terreno y la mampostería de tierra, impidiendo el contacto directo con el agua del subsuelo (MVCS, 2017, fig. 6).

Según Arévalo y Mina (2024), impermeabilizar correctamente el sobrecimiento puede prolongar hasta en un 40 % la vida útil del muro, pues previene la erosión superficial derivada de los ciclos de humedad y secado.



Figura 10 Sobrecimiento de piedra en muro de adobe. [imagen].

Fuente: (Adobe Patrimonial, s.f.) https://www.facebook.com/labardadeadobe/?locale=es_LA

2.3.11 Zócalo de piedra o laja

Sobre el sobrecimiento se recomienda ubicar un zócalo de laja o piedra plana, de entre 0.10 y 0.20 m de altura, con el fin de proteger el arranque del muro de adobe frente a las salpicaduras de lluvia y los choques mecánicos. Este elemento también funciona como zona de transición entre el material pétreo y la tierra, distribuyendo los esfuerzos y reduciendo la fisuración causada por diferencias de rigidez (MVCS, 2017, p. 18).

Lara (2017) señala que incluir el zócalo resulta especialmente importante en climas húmedos como el de la Sierra sur del Ecuador, ya que disminuye el deterioro por capilaridad y salinización del adobe.



Figura 11 Técnicas para el sobrecimiento, colocación de zócalo de piedra. [imagen].

Fuente: Tierra al Sur. (s. f.). *Zócalos de piedra, muros de adobe http://www.tierraalsur.com/nuestrasobras/casa_adobe_en_solymar/slides/Casa%20de%20adobe%20en%20Solymar_02.html*

2.3.12 Muro de adobe reforzado

El muro de adobe debe tener un espesor mínimo de 0.40 m e incorporar refuerzos horizontales y verticales (sogas sintéticas o mallas integradas en el mortero de junta), siguiendo el principio de confinamiento flexible que plantea la E.080. La norma exige, además, el uso de vigas collar u otros elementos horizontales de madera en el coronamiento, con el fin de evitar el colapso por pandeo (MVCS, 2017, art. 6.7).



Figura 12 Murete elaborado de 40 cm [imagen].

Fuente: Elaboración propia.

Estos refuerzos funcionan como "costuras" estructurales que aumentan la ductilidad del sistema y permiten disipar la energía sísmica sin comprometer la integridad del muro (MVCS, 2017).



Figura 13 Murete elaborado con el sistema de Drizas. [imagen].

Fuente: Giribas, C. (2017, 20 de enero). *Sistema de drizas: Reforzamiento estructural para construcciones en adobe*. ArchDaily. https://www.archdaily.com/es/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe

2.3.13 Enlucido impermeable y protección superficial

La superficie del muro debe recubrirse con un enlucido de barro estabilizado o con una mezcla de cal y arena fina, de al menos 1.5 cm de espesor, que ofrezca impermeabilidad parcial y protección térmica. La E.080 sugiere añadir aceites vegetales o mucílagos naturales (como sábila o nopal) para mejorar la repelencia al agua (MVCS, 2017, art. 10.2).

Este recubrimiento cumple una función higroscópica, ya que permite que el muro "respire" y regule su humedad interna sin dejar que penetre el agua líquida (Minke, 1994).



Figura 14 Colocación de fibras naturales en revoque de muro de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia.

2.3.14 Drenaje perimetral y pendiente exterior

De acuerdo con el esquema normativo, el terreno adyacente debe tener una pendiente mínima del 5 % (5 cm por metro) orientada hacia el exterior del muro, con el objetivo de evitar que se estanque el agua de lluvia. Cuando la pluviosidad es alta, se recomienda además instalar un dren perimetral con grava o tubos perforados que conduzcan el agua fuera de la cimentación (MVCS, 2017, fig. 6).

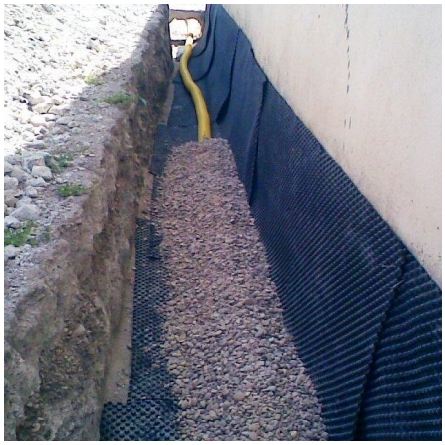


Figura 15 Drenaje y humedad por capilaridad. [imagen].

Fuente: Hume Ingeniería. (2017, 25 de mayo). Drenaje y humedad por capilaridad. Hume Ingeniería. https://humeingenieria.es/blog/drenaje-y-humedad-por-capilaridad/

Esta disposición no solo previene la erosión del cimiento, sino que también contribuye a la durabilidad del sistema de tierra reforzada, un criterio que la NEC ecuatoriana (MIDUVI, 2014b) también reconoce en su sección sobre protección contra la humedad en cimentaciones rurales.

2.3.15 Obras patrimoniales de tierra

El Capítulo V de la E.080 establece lineamientos para la conservación y el refuerzo de obras patrimoniales de tierra. Según este capítulo, toda intervención debe respetar las técnicas constructivas originales y emplear materiales compatibles con ellas, de manera que se preserve tanto la autenticidad como la estabilidad estructural de la edificación. Este planteamiento favorece la conservación preventiva de las construcciones históricas de adobe, lo que convierte a la E.080 en una norma con alcance tanto constructivo como cultural.



Figura 16 Vivienda de adobe en la parroquia rural de Susudel [imagen].

Fuente: Elaboración propia

2.3.16 Aplicabilidad en el contexto ecuatoriano

La E.080 se convierte en una referencia esencial para un país como Ecuador, que comparte con el país Perú rasgos geográficos, sísmicos y culturales similares. Debido a que no existe una norma ecuatoriana específica para las construcciones en tierra, las disposiciones de la E.080 terminan funcionando como guía técnica en proyectos de vivienda rural o social,

particularmente en la Sierra sur del país. Adaptar sus criterios (espesores mínimos, ensayos de suelo, uso de refuerzos y vigas collar) podría impulsar el desarrollo de un reglamento ecuatoriano propio y especializado, y de ese modo aportar a la formalización del adobe reforzado como un sistema constructivo tanto sostenible como seguro.

2.4 Incorporación de aditivos naturales y orgánicos

El interés actual por las técnicas constructivas sostenibles ha impulsado la investigación sobre aditivos naturales y orgánicos capaces de mejorar los materiales a base de tierra. Estos aditivos, casi siempre de origen vegetal o animal, funcionan como estabilizantes naturales, ya que modifican las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad del adobe. Entre los más estudiados se encuentran los mucílagos vegetales (nopal, sábila, linaza), la melaza de caña, la cal, el yeso y las fibras naturales tales como (cabuya, cabello, crin de caballo) (García, 2021; Minke, 1994). Estos elementos cumplen principalmente la función de mejorar la cohesión entre las partículas del suelo, reducir la permeabilidad, incrementar la resistencia a la compresión y disminuir la fisuración durante el secado (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012). En el contexto latinoamericano, estos estabilizantes naturales representan una alternativa ecológica frente a los aditivos industriales, pues resultan económicos, están disponibles localmente y son compatibles con los principios de la arquitectura vernácula.

2.4.1 Estudios y experiencias previas con mucílago de nopal, linaza o aloe vera

En América Latina, distintos estudios han analizado la efectividad de los mucílagos naturales como estabilizantes del adobe. El mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica), por ejemplo, se ha usado ampliamente en México y Perú debido a su capacidad de reducir la absorción de agua y mejorar la resistencia mecánica del material. Cisneros y Padilla (2023) comprobaron que al añadir entre un 10 % y un 22 % de mucílago de nopal, combinado con fibras de plumas de pollo, la resistencia a la compresión aumentó un 11.8 % y la absorción de agua se redujo hasta en un 11.62 %. Por otro lado, la linaza (Linum usitatissimum) se ha utilizado por el

contenido de aceites naturales que le confieren propiedades hidrofugantes; no obstante, en el contexto ecuatoriano su disponibilidad es limitada (Arévalo & Mina, 2024).

En el caso del mucílago de sábila (Aloe vera), las investigaciones más recientes muestran resultados particularmente favorables. Medina y Rojas (2022) encontraron que incorporar entre 1 % y 2 % de gel de Aloe vera en adobes compactados incrementa la resistencia tanto a la compresión como a la flexión, llegando a valores de 2.15 MPa, además de reducir la fisuración superficial durante el proceso de secado. Este efecto se explica por la composición del mucílago, rico en polisacáridos (glucomananos y pectinas) que generan un efecto aglutinante entre las partículas del suelo y mejoran su cohesión (Hamman, 2008; Losini et al., 2021). A esto se suma que su contenido de lignina y saponinas le confiere propiedades antibacterianas y antifúngicas, lo que favorece la durabilidad del material frente a agentes biológicos (Medina & Rojas, 2022). Por tratarse de una planta de amplio cultivo y fácil acceso en el país, el uso de Aloe vera representa una alternativa viable para el contexto ecuatoriano, ya que permite obtener adobes ecológicos con mayor resistencia frente a la humedad.

2.4.2 Ventajas comparativas entre aditivos naturales.

Aditivo natural	Origen/ Composición	Efecto principal	Resistencia a compresión (MPa)	Durabilidad/ Absorción	Disponibilidad/ Costo
Mucílago de sábila (Aloe vera)	Planta suculenta rica en polisacáridos, pectinas y lignina.	Mejora la cohesión, reduce fisuras y absorción de agua.	1.8 – 2.2 (Medina & Rojas, 2022)	Alta durabilidad, baja absorción.	Alta / Bajo costo (de amplio cultivo en Ecuador).
Mucílago de nopal	Cactus con polisacáridos y gomas naturales.	Aumenta la resistencia y reduce permeabilidad.	1.5 – 1.9 (Cisneros & Padilla, 2023)	Buena resistencia al agua, moderada durabilidad.	Media / Limitada en Ecuador.
Aceite de linaza	Semillas de linaza con alto contenido de ácidos grasos.	Actúa como impermeabilizante natural.	1.2 – 1.5 (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012)	Alta resistencia al agua, baja cohesión mecánica.	Baja / Importado.
Melaza de caña de azúcar	Subproducto orgánico del proceso azucarero.	Aumenta la resistencia y plasticidad del adobe.	1.7 – 2.15 (Rodríguez Cuervo, 2020)	Reduce fisuración, sensible a humedad.	Alta / Económica (producida localmente).
Yeso natural	Mineral de sulfato de calcio hidratado.	Incrementa la resistencia inicial y reduce tiempo de secado.	1.6 – 2.1 (Rodríguez Cuervo, 2020)	Buena durabilidad si se combina con melaza.	Alta / Bajo costo.

Tabla 1 Ventajas comparativas entre aditivos naturales

Fuente: Elaboración propia

Se presentan las principales características comparativas de los distintos aditivos naturales utilizados en la estabilización del adobe, tomando en cuenta su origen, su efecto sobre las propiedades mecánicas, su comportamiento frente al agua, su disponibilidad en Ecuador y su costo relativo.

El mucílago de sábila (Aloe vera) presenta ventajas considerables frente a los demás aditivos, gracias al equilibrio que logra entre resistencia mecánica, durabilidad y bajo costo. A esto se suma que su abundancia en el territorio ecuatoriano y la sencillez de su extracción la convierten en un estabilizante particularmente adecuado para viviendas rurales. La melaza de caña de azúcar, por su parte, funciona como una alternativa complementaria viable, mientras que el mucílago de nopal y el aceite de linaza muestran ciertas limitaciones vinculadas a su disponibilidad regional o a su costo.

Considerando la pertinencia territorial para Cuenca y las zonas rurales de Azuay, el Aloe vera ofrece ventajas claras frente a otros aditivos naturales:

1. Una alta disponibilidad local durante todo el año, tanto por cultivo doméstico como comercial.
2. Un bajo costo de obtención y procesamiento, ya que solo requiere corte, pelado y licuado.
3. Una huella de carbono menor y toxicidad nula en comparación con los aditivos industriales.
4. Compatibilidad con las prácticas constructivas vernáculas de la zona.

En contraste, el nopal, si bien ha demostrado ser eficaz, presenta una disponibilidad limitada en Ecuador; la linaza actúa como hidrofugante, pero suele ser un producto importado y de mayor costo; y la melaza de caña, aunque se consigue localmente con facilidad, puede volverse higroscópica si no se combina con un mineral (como el yeso o la cal) que module su comportamiento. Por estas razones, el mucílago de sábila resulta especialmente adecuado para viviendas sociales en zonas rurales, al combinar un buen desempeño técnico con viabilidad económica.



Figura 17 Planta de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

2.5 El mucílago de aloe vera como aditivo natural

2.5.1 Características químicas y físicas del aloe vera

El gel de Aloe vera (sábila) es un hidrocoloide de origen vegetal formado principalmente por agua (≈ 98-99 %) y una fracción sólida que contiene polisacáridos (acemannano/glucomanano, pectinas), monosacáridos (glucosa, fructosa), lignina, saponinas, compuestos fenólicos y minerales traza.

Su pH se ubica generalmente entre 4.5 y 5.5, presenta una conductividad eléctrica moderada y una viscosidad relativamente alta en comparación con el agua. Desde el punto de vista fisicoquímico, los polisacáridos de cadena larga presentes en el mucílago le otorgan propiedades reológicas de espesamiento y capacidad para formar película, mientras que la lignina y las saponinas contribuyen a una repelencia parcial al agua y a una acción antimicrobiana (Hamman, 2008).



Figura 18 Test de pH de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estas características es posible anticipar distintos mecanismos de estabilización en mezclas de tierra: (i) la formación de puentes poliméricos entre partículas de arcilla que generan una floculación controlada, (ii) la reducción de la migración capilar debido al aumento de viscosidad de la fase líquida, y (iii) el sellado superficial mediante una película polimérica que se forma durante el secado.

El gel de aloe vera contiene polisacáridos de cadena larga, sobre todo acemanano (un manano acetilado) y sustancias pécticas (Hamman, 2008). Su interacción con la fracción arcillosa del suelo puede explicarse por tres mecanismos descritos para los complejos de arcilla y polímero. Primero, los grupos hidroxilo de los polisacáridos forman puentes de hidrógeno con la superficie de las partículas de arcilla. Segundo, los polímeros con carga negativa, como las pectinas, se unen a las arcillas, también negativas, por medio de cationes del suelo como el calcio y el magnesio, que actúan de puente (Theng, 2012). Tercero, al secarse la mezcla una misma cadena queda adherida a varias partículas y forma una red que las mantiene unidas, como se ha descrito para otros biopolímeros aplicados a suelos (Chang et al., 2016). A esto se suma que el gel vuelve más viscosa el agua de amasado, lo que hace más lento el secado y reduce las fisuras por retracción (Losini et al., 2021).

2.5.2 Propiedades aglutinantes e impermeabilizantes del mucílago

El mucílago de Aloe vera funciona como aditivo natural principalmente a través de tres mecanismos: primero, aglutina las partículas finas del suelo, lo que mejora la cohesión y reduce la fisuración por retracción; segundo, disminuye la absorción capilar y la erosión superficial gracias a la película continua que forma; y tercero, resulta compatible con la matriz arcillosa, dado que no introduce sales solubles ni compuestos agresivos al material. Esta película polimérica, potenciada por el acemannano, actúa como un ligante flexible que favorece la tenacidad del material en edades tempranas y aporta resistencia residual a la tracción en los morteros de barro. En conjunto, estos efectos se reflejan en una mejor resistencia a la compresión y a la flexión, así como en una menor permeabilidad del material (Medina & Rojas, 2022).

2.5.3 Estudios e investigaciones que respaldan su aplicación

La literatura reciente coincide en señalar mejoras en el desempeño del adobe cuando se le añade gel o mucílago de Aloe vera:

- Medina y Rojas (2022) registraron incrementos en la resistencia a compresión y flexión en adobes compactados con dosificaciones de 1 % a 2 % del gel respecto a la masa de suelo, alcanzando valores de compresión entre 1.8 y 2.15 MPa, junto con una menor fisuración superficial tras el secado.

- La Norma Técnica Peruana E.080 reconoce, dentro del marco de la construcción en tierra reforzada, el uso de mucílagos vegetales como aditivos naturales para controlar la fisuración y mejorar el desempeño tanto del mortero de barro como de las unidades de adobe (MVCS, 2017).

Estudio / Fuente	Dosificación	Sistema	Efectos principales	Observaciones
Medina & Rojas (2022)	1–2% gel (m/m suelo)	Adobe compactado	↑ Rc y ↑ Rf; ↓ fisuración superficial; mejor trabajabilidad	Ensayos Proctor, compresión y flexión
MVCS E.080 (2017)	Uso recomendado de mucílagos en morteros/adobes	Tierra reforzada (norma)	Control de fisuras por secado; mejora de cohesión	Compatibilidad con refuerzos y diseño sismorresistente
García (2021)	Polímeros y fibras naturales (referencial)	Muros de adobe y morteros	Influencia del estabilizante en absorción y unión ladrillo-mortero	Importancia del proceso constructivo

Tabla 2 Tabla con Estudios e investigaciones que respaldan su aplicación

Fuente: *Elaboración propia*

2.6 Prototipado y Diseño Constructivo del Muro de Adobe Mejorado

El desarrollo de un prototipo de muro de adobe mejorado con mucílago de aloe vera busca reunir principios de sostenibilidad, eficiencia estructural y accesibilidad económica, pensando en el contexto de la vivienda social rural de Cuenca, Ecuador. Este prototipo se apoya en investigaciones previas sobre el mejoramiento del adobe mediante aditivos naturales (Medina & Rojas, 2022; Arévalo & Mina, 2024), así como en las normas E.080 (MVCS, 2017) y NEC-SE-VIVIENDA (MIDUVI, 2014b), que definen los parámetros técnicos y de seguridad sísmica exigidos para las construcciones de tierra reforzada.

2.7 Sistema Constructivo en Adobe Reforzado

El sistema constructivo en adobe reforzado supone integrar muros portantes con elementos estructurales complementarios que aseguren la estabilidad frente a cargas laterales y sismos, conforme a lo establecido en la Norma E.080 y en la NEC ecuatoriana. Este refuerzo puede incluir elementos horizontales y verticales de madera, acero o malla sintética, además de

soleras de confinamiento que distribuyen los esfuerzos tanto en la base como en el coronamiento del muro (MVCS, 2017).

En Ecuador, los sistemas mixtos de adobe reforzado han mostrado una resiliencia sísmica considerable (Lara, 2017). Los refuerzos de fibras naturales o sintéticas, sumados a la incorporación de aditivos orgánicos como el mucílago de aloe vera, ayudan a reducir la fisuración superficial y a mejorar la adherencia entre las unidades de adobe. El prototipo propuesto en esta investigación sigue ese esquema: muros portantes de 0,40 m de espesor con refuerzos de carrizo horizontales y verticales, viga collar de madera en la coronación, cimiento de piedra y sobrecimiento de al menos 0,30 m de altura, conforme a la Norma E.080 (MVCS, 2017). Los adobes se asientan con mortero de barro en juntas de 1,5 a 2 cm, alternando las hiladas para evitar juntas verticales continuas y mejorar la transferencia de cargas. Su construcción se describe en el apartado 4.5.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Elaboración de adobes de estudio

Para el desarrollo de la presente investigación se procedió a la elaboración de unidades de adobe con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico del material al incorporar un aditivo natural, específicamente el aloe vera, como agente estabilizante.

La fabricación de los adobes se llevó a cabo en el sector de San Bartolomé, provincia del Azuay, utilizando técnicas tradicionales de construcción con tierra. Para garantizar uniformidad en las muestras, se empleó una adobera de madera con dimensiones de 18,5 cm × 18,5 cm × 15 cm.

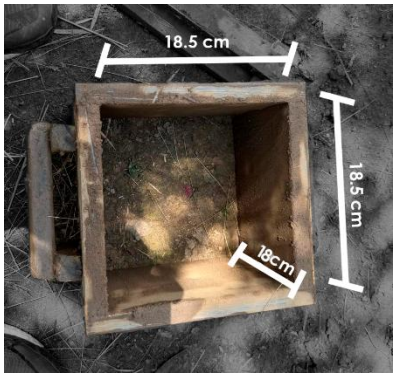


Figura 19 Adobera medidas [imagen].

Fuente: Elaboración propia

3.2 Materiales utilizados

Los materiales empleados en la elaboración de los adobes fueron los siguientes:

- **Tierra natural**: extraída del sector de San Bartolomé, previamente seleccionada para eliminar piedras y materiales no deseados, cabe recalcar que la extracción de la tierra se hizo de 45cm a 1m de profundidad para poder obtener un gran porcentaje de nuestra base de arcilla.



Figura 20 Extracción de la tierra para el adobe en la parroquia de San Bartolomé.

Fuente: Elaboración propia

- **Agua**: utilizada para lograr la plasticidad adecuada dentro de la mezcla.



Figura 21 Colocación de agua en la mezcla para su plasticidad correcta.

Fuente: Elaboración propia

- **Paja**: incorporada como refuerzo natural para evitar fisuración y mejorar la cohesión del material.



Figura 22 Imagen con fibras naturales de paja para la colocación de los adobes. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

- **Aloe vera (sábila)**: utilizado como aditivo natural en diferentes dosificaciones.



Figura 23 Mucílago de aloe vera después de 1 día de su elaboración. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

El aloe vera se obtuvo mediante la compra de una planta (roseta basal) en el mercado de El Arenal. A partir de ella, se cortaron las hojas y se extrajo manualmente el gel (baba), evitando incluir la pulpa, de manera que se recuperara únicamente el componente viscoso del material. Este gel se almacenó y transportó posteriormente para su uso en la mezcla.

3.3 Preparación y Empleo del mucílago de aloe vera

- Extracción del gel: se filetean las pencas maduras, se retira la cutícula, se escurre la aloína (responsable del amargor)



Figura 24 Extracción del mucílago de la planta de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

- Filtrado: se cuela la mezcla para eliminar las fibras gruesas; conviene usar el gel fresco, ya que de lo contrario puede degradarse enzimáticamente.



Figura 25 Separación y filtración del mucílago y la pulpa del aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

- Mezclado: el gel se incorpora durante la fase húmeda, procurando una mezcla homogénea antes de moldear o compactar.



Figura 26 Unión del mucílago con la mezcla y elaboración de adobe [imagen].

Fuente: Elaboración propia

- Curado y secado: es necesario proteger la mezcla del sol y el viento directo, favoreciendo un secado lento que minimice la fisuración.



Figura 27 Curado y secado del adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

3.4 Dosificación de las mezclas

La dosificación de los materiales se definió de manera empírica, siguiendo las prácticas tradicionales de elaboración de adobe propias del sector. Como unidad de medida se tomó una carretilla con capacidad aproximada de entre 60 y 80 litros, cantidad que resulta suficiente para elaborar cinco adobes de 18,5 cm × 18,5 cm × 15 cm.

Para cada preparación se emplearon los siguientes materiales:

- Tierra (material base): 1 carretilla.
- Agua: media caneca de pintura aproximadamente 9,5 L (recipiente reutilizado), cantidad que se ajustó según la humedad natural del suelo, procurando que la mezcla alcanzara entre un 20 % y un 30 % de humedad, porcentaje necesario para lograr una plasticidad adecuada durante el moldeado.
- Paja: se añadió en la proporción necesaria para mejorar la cohesión de la mezcla, con una dosificación de 1:5 a 1:7 respecto a la tierra en volumen, cuidando que su longitud no superara los 7 cm.

En cuanto al aditivo natural, el aloe vera se incorporó en distintas proporciones respecto al volumen de agua utilizado, estableciéndose las siguientes dosificaciones:

- 0 % (mezcla patrón, sin aditivo)
- 5 % de aloe vera
- 10 % de aloe vera
- 15 % de aloe vera

Cada una de estas dosificaciones se aplicó a una mezcla equivalente a una carretilla de tierra, con lo que se obtuvieron cinco unidades de adobe por cada variación, para un total de veinte muestras elaboradas. Cabe mencionar que la cantidad de agua empleada en cada mezcla se ajustó ligeramente según las condiciones de humedad del suelo, con el fin de lograr una consistencia plástica apropiada para el moldeado.

Para comparar estas dosificaciones con las de otros estudios, que expresan el aditivo respecto a la masa de suelo seco, se estimó su equivalencia a partir del agua de amasado y del peso de los adobes secos. Cada tanda empleó media caneca de agua, unos 9,5 litros, y produjo

cinco adobes con una masa seca de entre 42,3 y 43,6 kg. Con esos valores, las dosificaciones del 5 %, 10 % y 15 % respecto al agua equivalen aproximadamente al 1,1 %, 2,2 % y 3,4 % de gel respecto a la masa de suelo seco. En volumen, esto corresponde a 0,48, 0,95 y 1,43 litros de mucílago por tanda.

3.5 Preparación de la mezcla

El proceso de mezcla se realizó de forma manual utilizando herramientas básicas y técnicas tradicionales.

Inicialmente, la tierra fue transportada mediante carretilla desde el sitio de extracción hasta un lugar propicio para la elaboración de la mezcla.



Figura 28 Preparación de la mezcla [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se coloca la tierra extraída en el suelo, añadiendo agua a la tierra y se procedió a la mezcla mediante pisado con los pies, hasta lograr una consistencia homogénea. En las mezclas correspondientes, se incorporó el aloe vera en proporción a la cantidad de agua utilizada.



Figura 29 Mezclado y unión de materiales pisando para la elaboración de la mezcla de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se agregó paja a la mezcla como refuerzo, asegurando su distribución uniforme en toda la masa.



Figura 30 Mezclado y unión de materiales pisando para la elaboración de la mezcla de adobe ya con fibras naturales[imagen].

Fuente: Elaboración propia

3.6 Moldeado de los adobes

El moldeado se realizó utilizando una adobera de madera de eucalipto previamente humedecida. Para este proceso, el molde fue sumergido en un recipiente con agua durante aproximadamente 30 minutos antes de su uso, con el fin de evitar la adherencia del material.



Figura 31 Colocación de la mezcla en la adobera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

La mezcla fue colocada manualmente dentro del molde y compactada con la mano para asegurar una adecuada densificación. Posteriormente, se retiró el molde cuidadosamente, obteniendo bloques uniformes.



Figura 32 Elaboración del bloque de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Como práctica constructiva tradicional, se añadió una ligera capa de paja en la superficie superior del adobe, con el objetivo de mejorar su comportamiento durante el secado.

3.7 Secado de los adobes

Los adobes fueron secados de manera natural en el mismo lugar de fabricación durante un periodo de dos meses.



Figura 33 Adobes realizados. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

El proceso de secado se llevó a cabo bajo condiciones ambientales variables: los adobes recibieron sol directo únicamente durante medio día, mientras que el resto del tiempo permanecieron a la sombra, con ventilación natural. Para asegurar un secado uniforme, se les dio la vuelta una vez por semana.



Figura 34 Muestra de adobes. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

3.8 Transporte de las muestras

Una vez alcanzado el secado adecuado, los adobes fueron transportados hacia la ciudad de Cuenca para la realización de ensayos de laboratorio. Este proceso se realizó con cuidado para evitar daños o alteraciones en las muestras.



Figura 35 Adobes en laboratorio. [imagen].

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Ensayo de resistencia a la compresión

3.9.1 Equipo y procedimiento de ensayo

Concluido el secado natural de los bloques, las muestras se trasladaron desde el sector de San Bartolomé hasta el laboratorio Geo Test, en la ciudad de Cuenca, con el propósito de someterlas a los ensayos de resistencia a compresión. Durante el traslado se tuvo especial

cuidado en la manipulación de cada unidad, a fin de evitar golpes o fisuras que pudieran distorsionar los resultados.

Ya en el laboratorio, se procedió primero a organizar las muestras según su dosificación de aloe vera, agrupando los adobes conforme al porcentaje de aditivo empleado en su elaboración: 0 %, 5 %, 10 % y 15 %. A cada bloque se le asignó un código de identificación, lo que facilitó un seguimiento ordenado de los resultados a lo largo del proceso experimental.

El personal del laboratorio explicó posteriormente cómo funcionaba el equipo utilizado para los ensayos: una máquina Humboldt Manual de 300 000 lbs, con controlador 5090, capaz de aplicar carga axial de forma progresiva sobre los especímenes para determinar su resistencia a compresión. Cada adobe se ubicó centrado sobre la base del equipo, de manera que la carga se distribuyera uniformemente en toda la superficie de contacto.



Figura 36 Humboldt Manual de 300 000 lbs. [imagen].

Fuente: (Humboldt, s.f.) https://www.humboldtmfg.com/manual-30000lbs-1335kn-humboldt-compression-machine.html

Previo al ensayo, se midió cada unidad de adobe, paso indispensable porque, durante el secado, los bloques suelen presentar cambios dimensionales debido a la pérdida de humedad y a la contracción propia del material. Por esta razón, se trabajó con las medidas reales de

los adobes ya secos (y no con las dimensiones originales del molde), registrando la base y la altura de cada uno para calcular posteriormente su área de contacto.

Junto con las dimensiones, se registró también el peso individual de cada bloque, lo que permitió caracterizar físicamente las muestras antes del ensayo y relacionar de forma más precisa sus propiedades geométricas, su peso y la resistencia finalmente obtenida.

Con las muestras ya medidas y pesadas, los valores del área de contacto se ingresaron en el sistema del equipo para dar inicio al ensayo de compresión. La carga se aplicó de manera progresiva hasta que cada adobe llegó a su punto crítico de falla, momento en el cual la máquina registraba la carga máxima soportada. Cuando el bloque mostraba una caída notable en su resistencia (señal de que la falla estructural había comenzado), el equipo detenía el proceso de forma automática.

3.9.2 Cálculo de la resistencia a compresión

La resistencia a compresión de cada adobe se calculó a partir de la relación entre la carga máxima registrada y el área real de contacto de la muestra, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\sigma =$ resistencia a compresión (kg/cm^2)

$P =$ carga máxima aplicada (kgf)

$A =$ área de contacto del adobe (cm^2)

Los resultados obtenidos fueron organizados en tablas comparativas según cada dosificación de aloe vera. Estos datos permitieron elaborar gráficos de comportamiento y comparar la resistencia de los adobes tradicionales con los adobes modificados con aditivo natural.

Para cada dosificación se calculó el promedio, la desviación estándar muestral y el coeficiente de variación (desviación estándar dividida para el promedio, por 100).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis granulométrico y límites de Atterberg del suelo utilizado

Como parte de la caracterización del material empleado para elaborar los bloques de adobe, se realizaron ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg y clasificación SUCS. Estos ensayos permitieron identificar el comportamiento físico del suelo extraído del sector de San Bartolomé y verificar su composición general antes de relacionarlo con los resultados de resistencia a compresión.

Las muestras analizadas correspondieron a las mezclas con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de aditivo, con el propósito de observar si la incorporación de aloe vera generaba variaciones relevantes en la clasificación del material. Estos ensayos fueron realizados por el laboratorio GeoTest, siguiendo las normas ASTM D2216 (contenido de humedad), ASTM D6913 (granulometría), ASTM D4318 (límites de Atterberg) y ASTM D2487 (clasificación SUCS).

4.1.1 Contenido de humedad

En todas las muestras analizadas, el contenido de humedad natural resultó bajo. La muestra sin aditivo presentó una humedad aproximada del 5 %, mientras que las muestras con aloe vera registraron valores entre 5 % y 6 %. Estos resultados muestran que el material ensayado se encontraba en condiciones relativamente secas al momento de su caracterización.

La humedad natural resulta relevante porque influye directamente en la trabajabilidad del barro durante la elaboración del adobe y en el comportamiento posterior del bloque durante el secado. En este caso, los valores obtenidos indican que el suelo no presentaba exceso de humedad, lo cual facilita un mejor control del agua añadida durante la mezcla.

4.1.2 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico permitió determinar la proporción de grava, arena y finos presentes en cada muestra.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Dosificación	**Grava (%)**	**Arena (%)**	**Finos (%)**	**Clasificación SUCS**
0% aloe vera	7	46	47	SC
5% aloe vera	13	45	43	SC
10% aloe vera	12	45	44	SC
15% aloe vera	10	46	44	SC

Tabla 3 Tabla con análisis granulométrico comparativo con las diferentes dosificaciones de aloe vera.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos resultados, el material presenta una composición predominante de arena y finos. La fracción arenosa se mantiene alrededor del 45% al 46%, mientras que los finos varían entre el 43% y el 47%. La grava aparece en menor proporción, con valores entre el 7% y el 13%.

Esta composición resulta relevante para la elaboración de adobe, ya que la arena aporta estructura granular al bloque, mientras que los finos contribuyen a la cohesión del material. En este caso, la presencia equilibrada de arena y finos permite que el suelo tenga capacidad de moldearse y mantenerse unido durante el proceso de secado.

Es importante aclarar que el porcentaje de finos no corresponde únicamente a arcilla, sino al material que pasa el tamiz N° 200, compuesto por limos y arcillas. Sin embargo, al combinar este resultado con los límites de Atterberg, se confirma que el suelo posee plasticidad y comportamiento cohesivo.

4.1.3 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten evaluar la plasticidad del suelo, es decir, su capacidad de cambiar de estado según el contenido de humedad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Dosificación	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plasticidad (%)
0% aloe vera	48	26	22
5% aloe vera	48	26	21
10% aloe vera	49	27	22
15% aloe vera	49	27	23

Tabla 4 Tabla comparativa de los límites líquidos, plásticos LP y IP de las diferentes muestras de adobe con aloe vera.

Fuente: Elaboración propia

Los valores de límite líquido se encuentran entre 48% y 49%, mientras que el límite plástico varía entre 26% y 27%. Como resultado, el índice de plasticidad se ubica entre 21% y 23%.

Estos valores indican que el suelo posee plasticidad media a alta, condición favorable para la fabricación de adobe, ya que permite que la mezcla tenga cohesión suficiente para ser moldeada. La plasticidad también ayuda a que el barro mantenga su forma dentro de la adobera antes del proceso de secado.

No obstante, una plasticidad elevada también puede generar retracciones y fisuras si el secado no es controlado adecuadamente. Por esta razón, la incorporación de paja en la mezcla cumple una función importante, ya que ayuda a controlar el agrietamiento durante el secado natural.

4.1.4 Clasificación SUCS

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, todas las muestras fueron clasificadas como SC, correspondiente a arena arcillosa. Esta clasificación se mantuvo en

las cuatro dosificaciones analizadas, lo que indica que la incorporación de aloe vera no modificó la clasificación geotécnica general del material.

El resultado SC demuestra que el suelo posee una fracción arenosa importante acompañada de finos plásticos. Esta condición es coherente con un suelo apto para elaboración de adobe, debido a que combina una estructura granular con capacidad de cohesión.

El informe indica ausencia de contenido orgánico, lo cual es favorable para el uso del suelo como material constructivo. La presencia de materia orgánica puede afectar la estabilidad, durabilidad y comportamiento mecánico del adobe; por lo tanto, su ausencia representa una condición positiva para la investigación.

Los ensayos de granulometría y límites de Atterberg permiten concluir que el suelo utilizado en la elaboración de los adobes presenta características adecuadas para la fabricación de bloques de tierra cruda. La clasificación como arena arcillosa confirma que el material cuenta con una combinación de arena y finos plásticos, necesaria para lograr cohesión, moldeabilidad y estabilidad durante el secado.

La similitud de resultados entre las diferentes dosificaciones demuestra que el aloe vera no alteró la clasificación del suelo según el sistema SUCS. Por lo tanto, las variaciones observadas posteriormente en los ensayos de compresión no se deben a un cambio en la clasificación del material base. Sin embargo, el contenido de finos varió entre 43 % y 47 % entre las muestras, una diferencia que también pudo influir en la resistencia, como se analiza en el apartado 4.4.4.

En este sentido, la caracterización del suelo permitió establecer una base técnica para la investigación, confirmando que el material empleado corresponde a una arena arcillosa con plasticidad suficiente para la elaboración de adobe. Estos resultados sirven como respaldo

para el análisis posterior de resistencia a compresión y comportamiento mecánico de las muestras con y sin aloe vera.

4.2 Dimensiones y peso de las muestras.

Posterior al proceso de secado natural, las unidades de adobe presentaron variaciones en sus dimensiones respecto a las medidas iniciales del molde (18,5 × 18,5 × 15 cm), debido a la pérdida de humedad y procesos de contracción propios del material.



Figura 37 Muestra de laboratorio de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Por tal motivo, se consideraron las dimensiones reales de cada muestra para el cálculo del área efectiva de carga, lo que permitió obtener resultados más precisos en los ensayos de resistencia a la compresión.

En cuanto al peso, los valores registrados oscilaron entre aproximadamente 8,31 kg y 8,93 kg, evidenciando una relativa uniformidad en la masa de las unidades, independientemente del porcentaje de aloe vera incorporado.



Figura 38 Pesaje de cada bloque de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.3 Resultados de la resistencia a la compresión

A partir de los ensayos realizados, se obtuvieron los valores de resistencia a la compresión para cada muestra, calculados en función de la carga máxima aplicada y el área correspondiente.

Código	% Aloe	Base (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Peso (kg)	Carga máxima (kgf)	Resistencia (kg/cm²)
00_1	0%	18,2 x 18,2	15	331,24	8,8100	3161	9,542
00_2	0%	18,1 x 18,2	15	329,42	8,7230	3435	10,427
00_3	0%	18,2 x 18,2	15,1	331,24	8,8845	2937	8,866
00_4	0%	18,5 x 18,5	15,1	342,25	8,9330	3729	10,895
00_5	0%	18,5 x 18,5	15	342,25	8,8860	3409	9,960
05_1	5%	18,2 x 18,6	15	338,52	8,7600	3310	9,777
05_2	5%	18,5 x 18,5	14,5	342,25	8,6635	3137	9,165
05_3	5%	18,2 x 18,2	14,6	331,24	8,7194	3321	10,025
05_4	5%	18,2 x 18,1	14,6	329,42	8,7580	3028	9,191
05_5	5%	18,2 x 18,5	15,1	336,7	8,7400	2982	8,856
10_1	10%	18 x 18	14,4	324	8,3125	3364	10,382
10_2	10%	18,3 x 18,2	14,9	333,06	8,6285	3130	9,397
10_3	10%	18,3 x 18,3	14,7	334,89	8,5175	3114	9,298
10_4	10%	18,2 x 18	14,8	327,6	8,4065	3175	9,691
10_5	10%	18 x 18,2	15	327,6	8,6325	2950	9,004
15_1	15%	18 x 18,2	14,4	327,6	8,5635	3146	9,603
15_2	15%	18,2 x 17,9	14,5	325,78	8,4290	3177	9,751
15_3	15%	18 x 18	14,5	324	8,5070	3212	9,913
15_4	15%	17,9 x 18,1	14,5	323,99	8,4150	3019	9,318
15_5	15%	18 x 18	14,9	324	8,4075	3088	9,530

Tabla 5 Resultados del ensayo de resistencia a compresión de adobes con diferentes porcentajes de aloe vera.

Fuente: Elaboración propia a partir de los ensayos de Geo Test

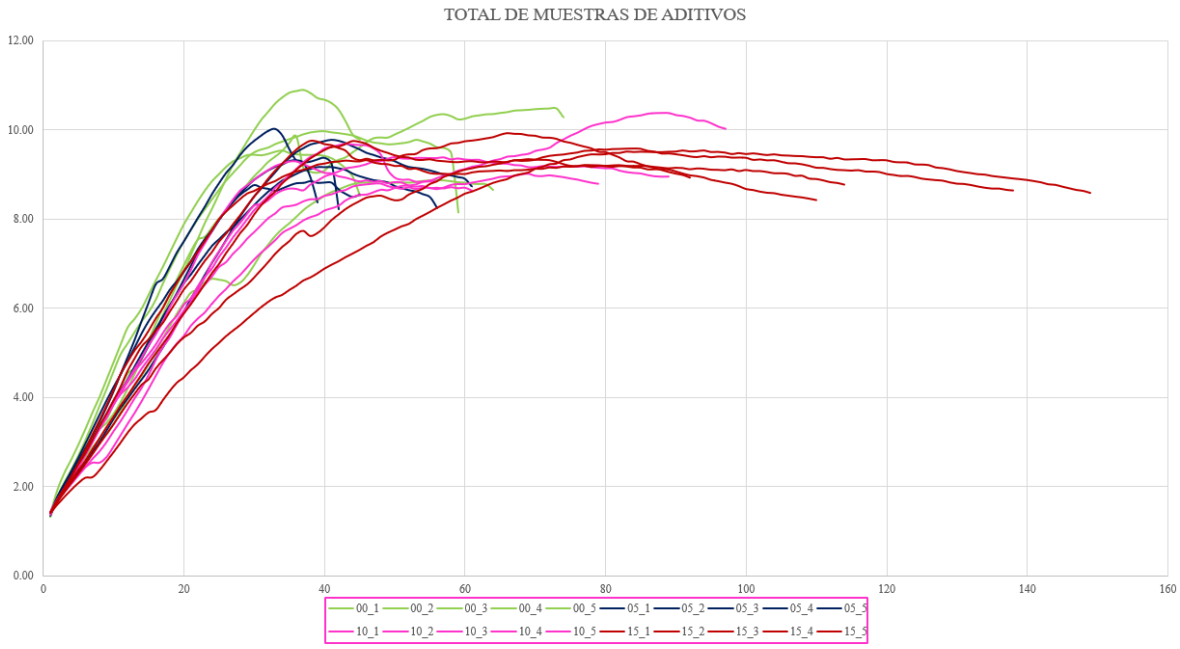


Figura 39 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con diferentes dosificaciones de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Adobe patrón sin aditivo 0% de aloe vera

Las muestras correspondientes al 0% de aloe vera fueron elaboradas como grupo patrón, es decir, sin incorporación del aditivo natural. Este grupo permitió establecer una referencia comparativa frente a las demás dosificaciones.

Código	**Resistencia kg/cm²**
00_1	9,54
00_2	10,43
00_3	8,87
00_4	10,90
00_5	9,96

Tabla 6 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 0% de aditivo natural de aloe vera.

Fuente: Elaboración propia

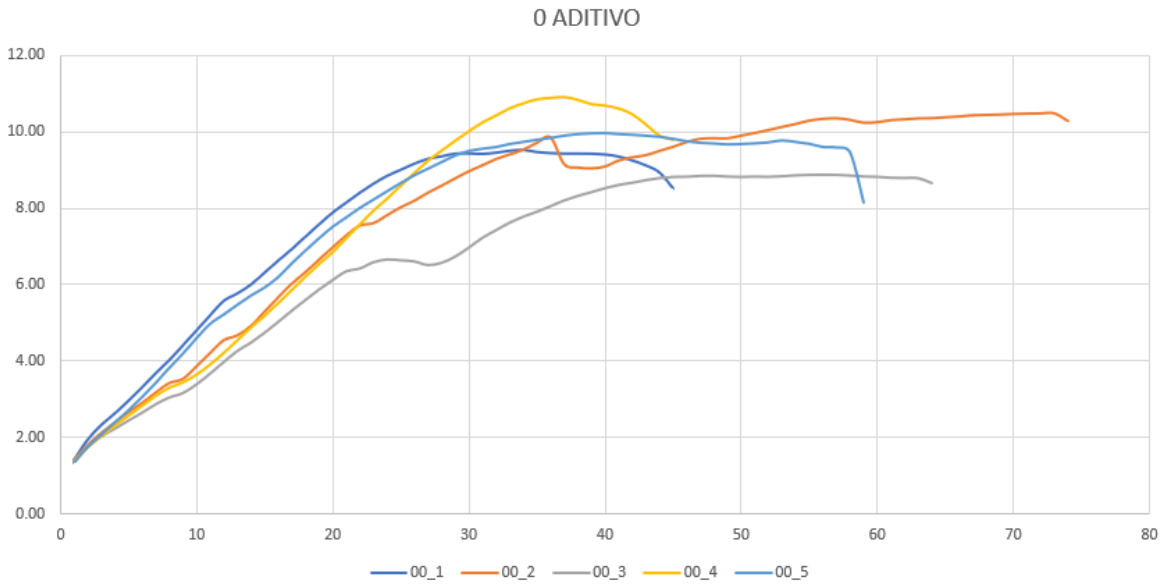


Figura 40 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 0% aditivo natural de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

El grupo de adobe tradicional (sin aditivo) alcanzó un promedio de resistencia a compresión de 9,94 kg/cm², el valor más alto entre todas las dosificaciones evaluadas. Esto sugiere que, en términos de resistencia máxima, fue este grupo el que presentó el mejor comportamiento.

No obstante, también se observó en él una mayor dispersión entre resultados: la muestra de menor resistencia registró 8,87 kg/cm², mientras que la de mayor resistencia alcanzó 10,90 kg/cm². Esta diferencia refleja una variabilidad más marcada que la encontrada en los adobes con aloe vera.

Este comportamiento resulta habitual en materiales de tierra elaborados de forma manual, pues su resistencia depende de varios factores la compactación, la distribución de la paja, el contenido de humedad, la homogeneidad de la mezcla y el proceso de secado. De ahí que, aunque el adobe sin aditivo obtuvo el promedio más alto, su comportamiento entre muestras fue menos uniforme.

Durante el ensayo de compresión, además, las muestras sin aditivo mostraron una falla más frágil, con una pérdida rápida de resistencia una vez superado el punto máximo de carga. Esto indica que, si bien el adobe tradicional soporta cargas elevadas, al llegar a su límite tiende a perder capacidad de forma más brusca.

4.3.2 Adobe con 5% de aloe vera

Las muestras con 5 % de aloe vera correspondieron a la primera dosificación con aditivo natural, en la que este se incorporó en una proporción baja respecto al agua utilizada en la mezcla.

Los resultados obtenidos fueron:

Código	**Resistencia kg/cm²**
05_1	9,78
05_2	9,17
05_3	10,03
05_4	9,19
05_5	8,86

Tabla 7 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 5% de aditivo natural de aloe vera.

Fuente: Elaboración propia

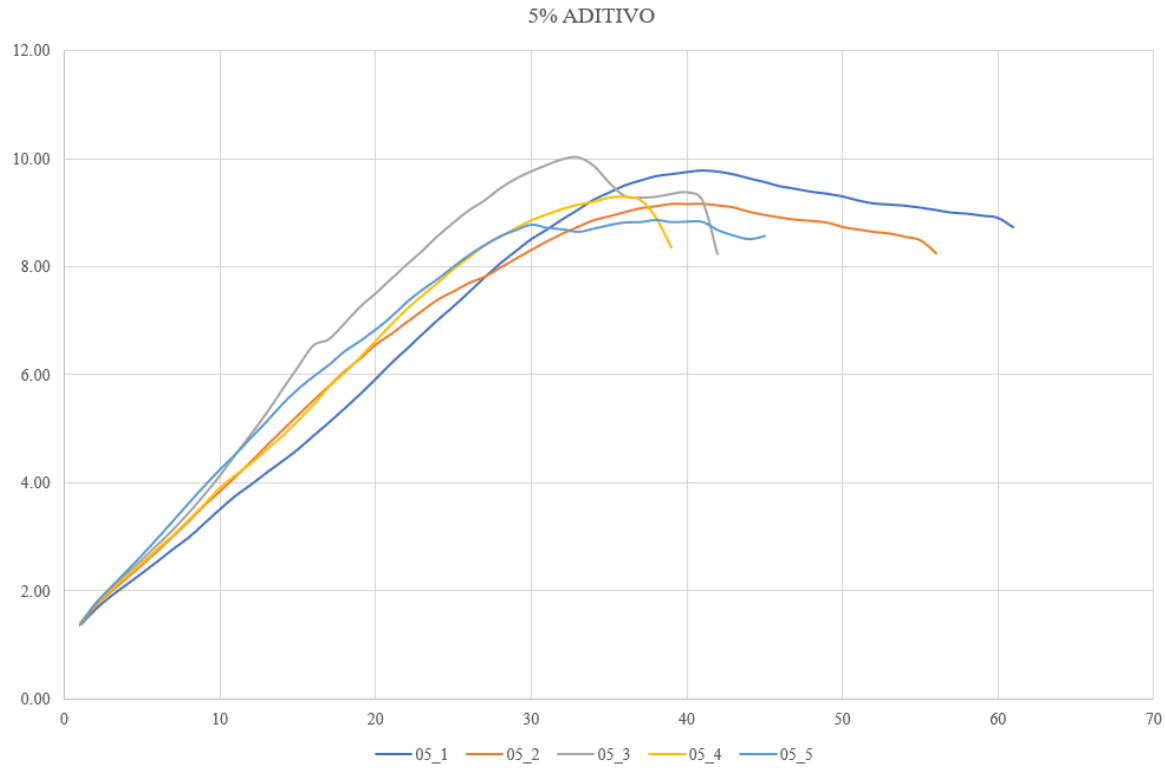


Figura 41 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 5% aditivo natural de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

En este grupo, el promedio de resistencia a compresión fue de 9,40 kg/cm², un valor inferior al del grupo patrón. Esto muestra que incorporar un 5 % de aloe vera no logró aumentar la resistencia máxima del adobe respecto a la mezcla tradicional.

Pese a esta disminución, los resultados mostraron una variación menor que la registrada en el grupo de 0 %: la resistencia mínima fue de 8,86 kg/cm² y la máxima de 10,03 kg/cm², lo que sugiere un comportamiento algo más controlado entre las muestras.

Esto permite interpretar que una dosificación baja de aloe vera no basta para mejorar la resistencia máxima del adobe. Sin embargo, su presencia ya empieza a modificar la respuesta del material, acercando los valores entre sí y reduciendo en parte la dispersión de los resultados.

Desde el punto de vista físico, es posible que el 5 % de aloe vera haya funcionado como un componente cohesivo dentro de la mezcla, aunque en una cantidad todavía insuficiente para generar una mejora clara en el desempeño mecánico global. Por esta razón, esta dosificación se considera la menos favorable entre los grupos con aditivo, al presentar el promedio de resistencia más bajo.

4.3.3 Adobe con 10% de aloe vera

Las muestras con 10 % de aloe vera permitieron evaluar el comportamiento del adobe con una dosificación media del aditivo natural.

Los resultados obtenidos fueron:

Código	**Resistencia kg/cm²**
10_1	10,38
10_2	9,40
10_3	9,30
10_4	9,69
10_5	9,00

Tabla 8 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 10% de aditivo natural de aloe vera.

Fuente: Elaboración propia

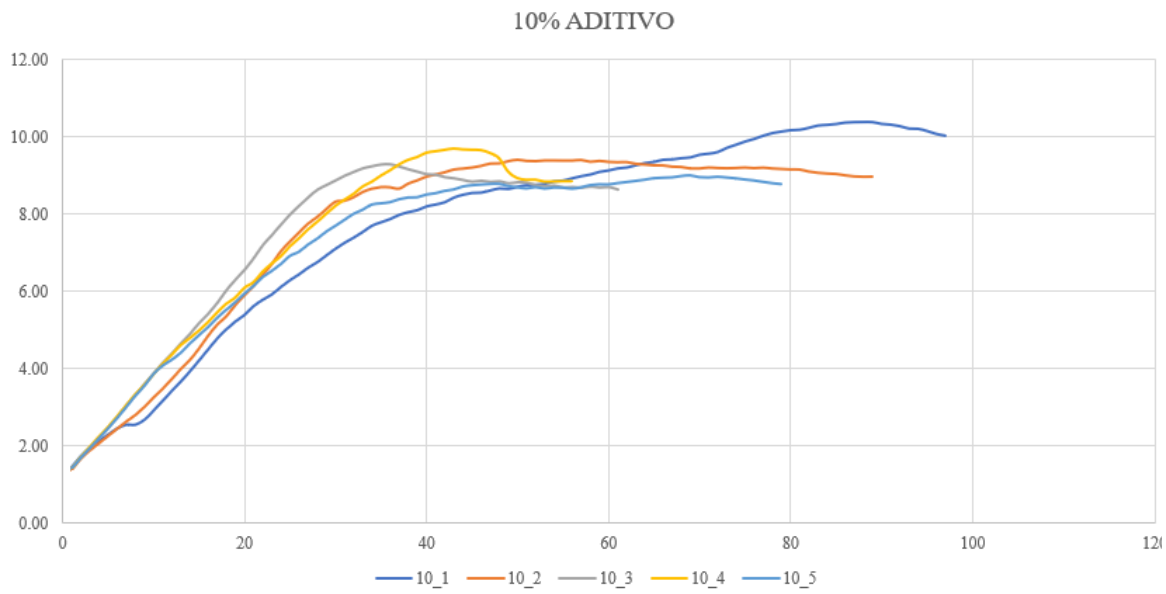


Figura 42 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 10% aditivo natural de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

El promedio de resistencia a compresión en este grupo fue de 9,56 kg/cm², un valor inferior al del adobe patrón, pero superior al alcanzado con la dosificación del 5 %. Esto indica que el 10 % de aloe vera, si bien no supera la resistencia máxima del adobe tradicional, sí representa una recuperación frente al grupo de 5 %. Sus valores individuales, además, se mantuvieron dentro de un rango relativamente uniforme, con una resistencia mínima de 9,00 kg/cm² y una máxima de 10,38 kg/cm².

Al analizar esta dosificación, se hace evidente que el aloe vera comienza a cumplir un papel más claro como estabilizante natural: aunque no aumenta la resistencia máxima, sí contribuye a que la respuesta mecánica entre las unidades ensayadas sea más constante.

Por otro lado, durante el ensayo se observó que las muestras con aloe vera presentaron una pérdida de resistencia más progresiva después del punto de ruptura, lo que significa que el material no colapsó de inmediato, sino que conservó cierta capacidad de carga residual mientras continuaba deformándose.

Por estas razones, la dosificación del 10 % puede considerarse una mezcla intermedia de comportamiento equilibrado: no alcanza el mayor valor de resistencia, pero mejora la regularidad del material y muestra un comportamiento post-falla más favorable que el del adobe tradicional.

4.3.4 Adobe con 15% de aloe vera

Las muestras con 15 % de aloe vera correspondieron a la dosificación más alta evaluada en esta investigación.

Los resultados obtenidos fueron:

Código	Resistencia kg/cm²
15_1	9,60
15_2	9,75
15_3	9,91
15_4	9,32
15_5	9,53

Tabla 9 Tabla de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 15% de aditivo natural de aloe vera.

Fuente: *Elaboración propia*

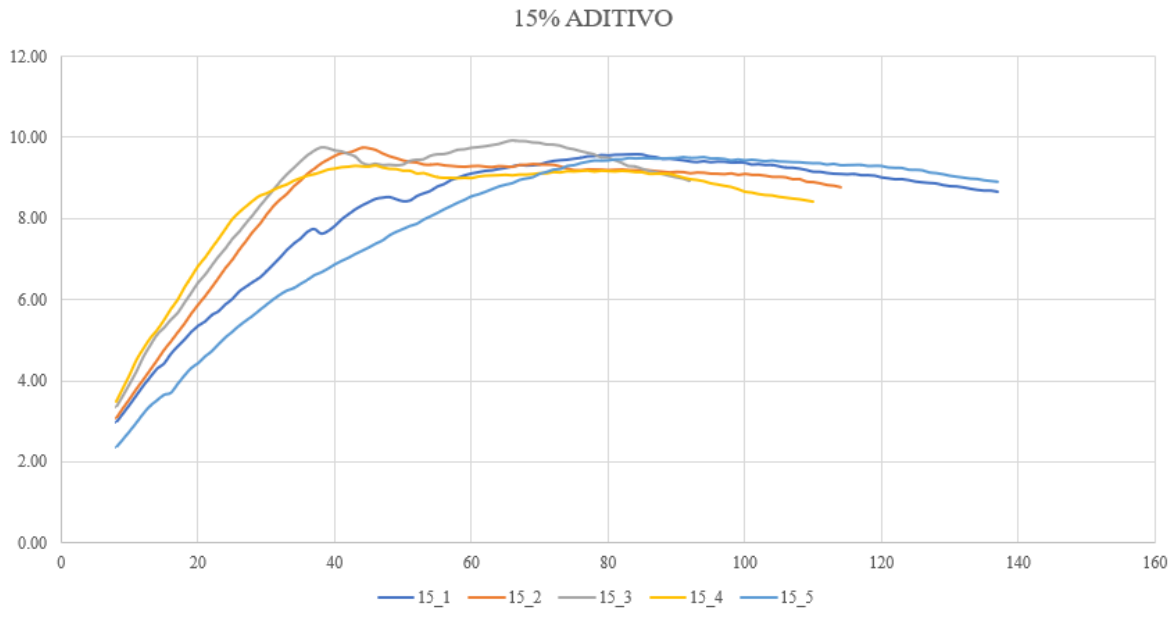


Figura 43 Curvas de resistencia a compresión de las muestras de adobe con 15% aditivo natural de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

En este grupo, el promedio de resistencia a compresión fue de 9,62 kg/cm², el mejor resultado entre las mezclas con aloe vera. Aunque este valor todavía se ubica por debajo del promedio del adobe patrón, corresponde a la dosificación con aditivo que mostró el comportamiento más estable.

Un aspecto destacable en este grupo es la baja variación entre muestras: la resistencia mínima fue de 9,32 kg/cm² y la máxima de 9,91 kg/cm², lo que refleja una alta uniformidad en los resultados. Esto resulta relevante porque indica que la mezcla con 15 % de aloe vera dio lugar a bloques con un comportamiento más predecible y constante.

Desde un punto de vista técnico, esta uniformidad sugiere que el aloe vera contribuyó a mejorar la cohesión interna del material, aunque con cinco muestras por grupo la diferencia de dispersión no alcanza significancia estadística (prueba de Levene, $p = 0,18$).

Asimismo, durante los ensayos se observó que las muestras con mayor porcentaje de aloe vera conservaron resistencia incluso después de alcanzar el punto crítico de falla, lo que apunta a una mejora en la ductilidad del adobe: el bloque no perdió su capacidad de carga de forma inmediata, sino que la fue reduciendo de manera gradual.

Si bien la dosificación del 15 % no fue la más resistente en términos absolutos, sí fue la que presentó el mejor desempeño integral entre las mezclas modificadas con aloe vera, al combinar una resistencia cercana a la del patrón, menor dispersión de resultados y un mejor comportamiento posterior a la ruptura.

4.3.5 Comparación de promedios entre dosificaciones

Los valores promedio obtenidos para cada dosificación fueron los siguientes:

- 0 % (adobe tradicional): 9,94 kg/cm²
- 5 % de aloe vera: 9,40 kg/cm²
- 10 % de aloe vera: 9,56 kg/cm²
- 15 % de aloe vera: 9,62 kg/cm²

Si bien el adobe tradicional presenta el valor promedio más alto, la diferencia con las mezclas que contienen aloe vera es pequeña, entre 3,2 % y 5,4 %, y no resulta estadísticamente significativa según un análisis de varianza de un factor ($F = 0,87$; $p = 0,48$). Los promedios se calcularon con los valores sin redondear de la Tabla 5. Expresados en unidades del Sistema Internacional, van de 0,92 MPa (5 %) a 0,97 MPa (0 %), valores cercanos pero inferiores a la resistencia mínima de 1,0 MPa (10,2 kgf/cm²) que la Norma E.080 exige a las unidades de adobe, calculada como el promedio de las cuatro mejores de seis muestras ensayadas en cubos de 10 cm de arista (MVCS, 2017, art. 8.1). La comparación es solo referencial, porque en esta investigación se ensayaron bloques completos de unos 18 × 18 × 15 cm y cinco muestras por grupo; aun así, indica que el adobe estudiado no alcanza por sí solo el mínimo normativo y que su uso en vivienda requiere el sistema de refuerzo descrito en el apartado 4.5.

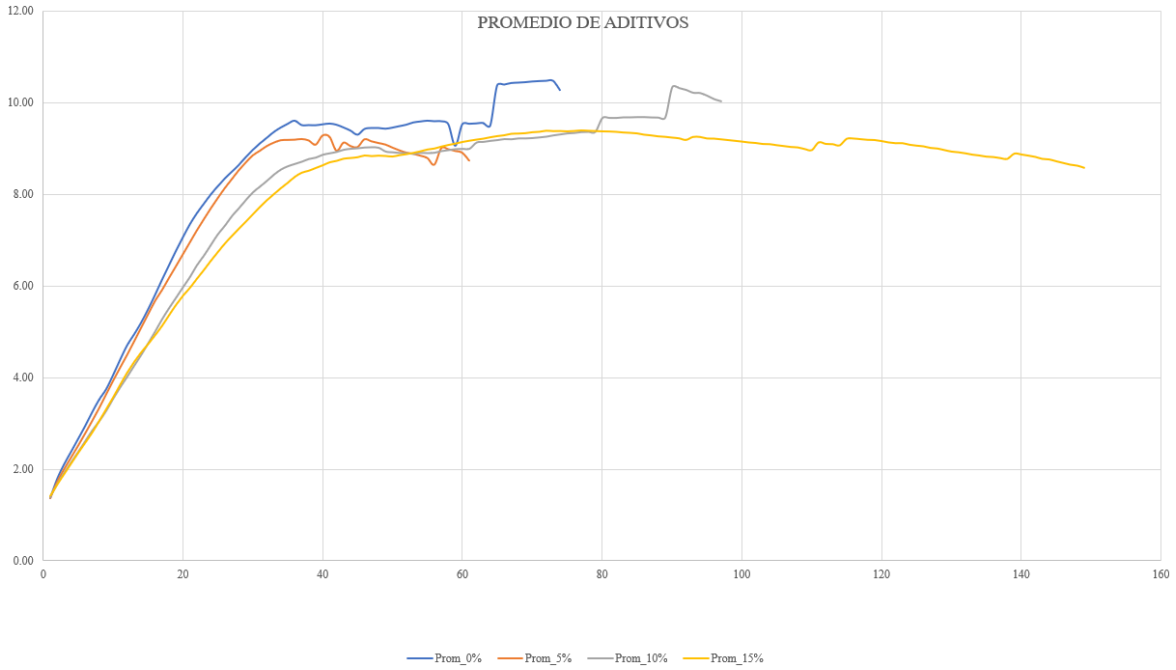


Figura 44 Curvas de promedio de resistencia a compresión de las muestras de adobe con aditivo natural de aloe vera. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de la variabilidad de resultados

Dosificación	Muestras	Promedio (kg/cm²)	Desviación estándar (kg/cm²)	Coeficiente de variación (%)	Mínimo (kg/cm²)	Máximo (kg/cm²)	Diferencia con el patrón (%)
0%	5	9,94	0,78	7,9	8,87	10,90	–
5%	5	9,40	0,48	5,1	8,86	10,03	−5,4
10%	5	9,56	0,52	5,5	9,00	10,38	−3,9
15%	5	9,62	0,23	2,3	9,32	9,91	−3,2

Tabla 10 Estadística descriptiva de la resistencia a compresión por dosificación.

***Fuente:** Elaboración propia*

La desviación estándar muestral pasó de 0,78 kg/cm² en el adobe patrón a 0,23 kg/cm² en la mezcla con 15 % de aloe vera, y el coeficiente de variación, de 7,9 % a 2,3 %. Las mezclas con 5 % y 10 % mostraron una dispersión intermedia y similar entre sí (5,1 % y 5,5 %). Las diferencias entre promedios, en cambio, son pequeñas: la mezcla con 15 % quedó 3,2 % por debajo del patrón, y un análisis de varianza de un factor no encontró diferencias significativas entre los cuatro grupos ($F = 0,87$; $p = 0,48$). Con cinco muestras por grupo, estos resultados deben leerse como una tendencia y no como una demostración estadística.

Un aspecto relevante en los resultados obtenidos es la dispersión de los valores de resistencia entre las distintas muestras. Los adobes sin aditivo (0 %) presentan una mayor variabilidad, con diferencias más marcadas entre las resistencias registradas en cada unidad, lo que apunta a un comportamiento menos uniforme del material y podría estar relacionado con la heterogeneidad propia de la mezcla tradicional. Los adobes con aloe vera, en cambio, muestran valores de resistencia más uniformes: las tres mezclas presentaron menor dispersión que el patrón (coeficientes de variación de 5,1 %, 5,5 % y 2,3 %, frente a 7,9 %), y la del 15 % fue claramente la más uniforme. Este comportamiento sugiere que el aloe vera funcionaría como agente estabilizante, al mejorar la cohesión interna del material y reducir la variabilidad de su desempeño mecánico.

4.4.1 Comportamiento mecánico durante la falla

Durante los ensayos de compresión se observaron diferencias importantes en el comportamiento de las muestras al llegar al punto de quiebre. Los adobes sin aditivo (0 %) presentaron una falla frágil, marcada por una pérdida abrupta de resistencia al alcanzar la carga máxima, lo que provocaba una rotura inmediata del material. Los adobes con aloe vera, en cambio, mostraron un comportamiento más progresivo: una vez alcanzada la carga máxima, las muestras no colapsaron de inmediato, sino que conservaron cierta resistencia residual que fue disminuyendo gradualmente a medida que continuaba la aplicación de carga. Este fenómeno resultó más notorio en las dosificaciones más altas (10 % y 15 %), donde el material mostró mayor capacidad de deformación antes de colapsar por completo.

4.4.2 Comportamiento estructural

A partir de estos resultados, puede afirmarse que la incorporación de aloe vera no produce un aumento significativo en la resistencia máxima a la compresión del adobe; sin embargo, sí modifica de forma importante su comportamiento mecánico. El adobe tradicional presenta una mayor resistencia promedio, pero su comportamiento frágil lo hace más propenso a

fallas abruptas. Los adobes con aloe vera presentan, en cambio, menor dispersión de resistencias, sobre todo en la mezcla del 15 %, y en las dosificaciones del 10 % y 15 % mostraron mayor capacidad de mantener resistencia después del quiebre y un comportamiento más dúctil.

Estas características indican que el aloe vera mejora la cohesión interna del material, funcionando como un estabilizante natural que favorece un comportamiento estructural más controlado.

4.4.3 Determinación de la dosificación óptima

Con base en este análisis, se determina que la dosificación más adecuada es la del 15 % de aloe vera, ya que:

- Mantiene valores de resistencia cercanos a los del adobe tradicional
- Reduce la variabilidad entre muestras
- Mejora el comportamiento post-falla

Si bien el adobe sin aditivo alcanza la mayor resistencia máxima, las mezclas con aloe vera ofrecen un mejor desempeño integral desde el punto de vista estructural, lo que las hace especialmente relevantes para su aplicación en viviendas de interés social.

A partir del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión, se determinó que la dosificación óptima entre los adobes elaborados con aloe vera corresponde al 15 % de aditivo natural. Esta elección no se basa únicamente en el valor máximo de resistencia alcanzado, sino en el comportamiento integral del material a lo largo de todo el proceso de carga, desde el inicio del ensayo hasta el momento posterior a la ruptura.

En cuanto a resistencia máxima, fue el adobe patrón (sin aditivo) el que registró el promedio más alto, con un valor aproximado de 9,94 kg/cm². Esto confirma que la incorporación de aloe vera no logró aumentar la resistencia pico del adobe tradicional. Sin embargo, el propósito de esta investigación no se reduce a identificar el bloque con mayor carga máxima, sino a evaluar el comportamiento mecánico del adobe como material de construcción para viviendas de interés social. Bajo esta perspectiva, resulta necesario considerar no solo cuánto resiste el bloque antes de romperse, sino también cómo se comporta una vez superado su punto crítico de falla.

El adobe con 15 % de aloe vera alcanzó un promedio de resistencia a compresión de 9,62 kg/cm², el valor más alto entre las mezclas con aditivo evaluadas. Aunque este resultado se mantiene ligeramente por debajo del adobe patrón tradicional, la diferencia no representa una pérdida significativa dentro del comportamiento general del material. Esta dosificación, además, mostró una resistencia cercana a la del grupo patrón, pero con una respuesta más uniforme entre las muestras ensayadas.

Uno de los aspectos que más justifica la elección del 15 % de aloe vera es la baja dispersión de sus resultados: las resistencias individuales se mantuvieron dentro de un rango reducido, entre 9,32 kg/cm² y 9,91 kg/cm². Esta uniformidad muestra que la mezcla dio lugar a bloques con un comportamiento más constante y predecible, característica especialmente valiosa en materiales elaborados artesanalmente como el adobe, donde la variabilidad del proceso manual (influida por la compactación, la distribución de la paja, la humedad, el secado y la homogeneidad de la mezcla) suele ser considerable.

Esta dosificación también mostró un mejor comportamiento después del punto de ruptura. Durante los ensayos se observó que los adobes con mayor porcentaje de aloe vera no perdían su capacidad resistente de forma inmediata tras alcanzar la carga máxima, sino que

conservaban una resistencia residual que disminuía de manera progresiva. Esto indica que el bloque no falló súbitamente, sino que respondió de forma más controlada frente a la carga aplicada.

Este comportamiento permite interpretar que el aloe vera funcionó como estabilizante natural dentro de la mezcla. Su aporte no se tradujo en un aumento directo de la resistencia máxima, sino en una mejora de la cohesión interna del adobe: al incorporarse en mayor proporción, el mucílago favoreció una mejor integración entre la tierra, la paja y el agua, dando lugar a una matriz más homogénea. Esta condición permitió que el bloque mantuviera mayor continuidad una vez iniciada la fisuración, atenuando el carácter frágil que suele caracterizar al adobe tradicional.

Este comportamiento es coherente con los mecanismos descritos en el apartado 2.5. Los polisacáridos del mucílago se adhieren a las partículas de arcilla mediante puentes de hidrógeno y puentes de cationes y, al secarse la mezcla, forman una red que las mantiene unidas (Theng, 2012; Chang et al., 2016). Esa red actúa sobre la cohesión entre partículas y sobre la forma en que avanzan las fisuras, lo que explica la menor dispersión entre unidades y la pérdida de resistencia más gradual después de la carga máxima. La resistencia pico, en cambio, depende sobre todo de la compactación y de la fracción arcillosa del suelo. A esto se suma que el gel de aloe vera es agua en un 98 % a 99 % (Hamman, 2008): la dosificación del 15 % aporta unos 1,4 litros de gel por tanda, es decir, apenas entre 14 y 28 g de polímero por cada 42 kg de suelo, menos del 0,1 % de su masa. Esa cantidad basta para homogeneizar la matriz, pero no para aumentar la resistencia máxima del bloque.

Expresada respecto a la masa de suelo, la dosificación del 15 % equivale a cerca del 3,4 % de gel, por encima del rango de 1 % a 2 % en el que Medina y Rojas (2022) registraron aumentos de resistencia en adobes compactados. Las mezclas del 5 % y 10 %, equivalentes

al 1,1 % y 2,2 %, sí se ubican en ese rango y tampoco aumentaron la resistencia. Esto sugiere que la diferencia con aquel estudio se debe más al proceso de fabricación, adobe compactado frente a adobe moldeado a mano, que a la cantidad de aditivo.

Desde el punto de vista constructivo, el adobe con 15 % de aloe vera representa la alternativa más adecuada entre las mezclas modificadas, ya que equilibra tres aspectos fundamentales: una resistencia cercana a la del adobe patrón, mayor uniformidad entre muestras y un mejor comportamiento posterior a la ruptura. Esta combinación resulta especialmente relevante para viviendas de interés social, donde no basta con que el material resista cargas, sino que también debe presentar un comportamiento estable y repetible.

4.4.4 Relación entre las propiedades del suelo y la resistencia

Dosificación	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Índice de plasticidad (%)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Coeficiente de variación (%)
0%	7	46	47	22	9,94	7,9
5%	13	45	43	21	9,40	5,1
10%	12	45	44	22	9,56	5,5
15%	10	46	44	23	9,62	2,3

Tabla 11 Tabla de relación entre granulometría, plasticidad y resistencia por dosificación.

Fuente: *Elaboración propia*

La resistencia promedio más alta corresponde a la mezcla con mayor contenido de finos (47 %) y menor contenido de grava (7 %), mientras que la más baja corresponde a la mezcla con menos finos (43 %) y más grava (13 %). Entre las mezclas con aloe vera, la resistencia crece junto con el índice de plasticidad: 9,40, 9,56 y 9,62 kg/cm² para índices de 21 %, 22 % y 23 %. Esto es coherente con el papel de los finos plásticos como aglutinante del adobe. Al tratarse de solo cuatro mezclas, la relación es indicativa, pero sugiere que parte de la ventaja del adobe patrón podría deberse a que su muestra de suelo era algo más fina, y no solo a la ausencia de aditivo.

Con un límite líquido de 48 % a 49 % y un índice de plasticidad de 21 % a 23 %, el suelo tiene una tendencia apreciable a la retracción durante el secado. Esto explica la importancia de la paja como refuerzo y del secado lento y protegido descrito en el apartado 3.7.

4.5 Elaboración del módulo experimental de muro de adobe con 15% de mucílago de aloe vera.

4.5.1 Objetivo del módulo experimental

Luego de analizar los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión, se determinó que la dosificación del 15% de mucílago de aloe vera presentó el mejor comportamiento integral dentro de las mezclas estabilizadas. Aunque el adobe sin aditivo alcanzó el mayor valor promedio de resistencia máxima, el adobe con 15% de aloe vera mostró una respuesta más uniforme entre muestras y un mejor comportamiento posterior al punto de falla.

A partir de este resultado, se elaboró un prototipo experimental de muro de adobe con el objetivo de representar una posible aplicación constructiva del bloque seleccionado en un sistema de albañilería de tierra. Este murete no fue realizado con fines de ensayo estructural de laboratorio, sino como una demostración constructiva del proceso de levantamiento de un muro de adobe reforzado, aplicando criterios técnicos de construcción con tierra y tomando como referencia la Norma Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.

El propósito principal fue mostrar cómo el adobe elaborado con 15% de mucílago de aloe vera puede incorporarse en un sistema de muro más completo, considerando no solo el bloque individual, sino también el aparejo, el mortero, el espesor del muro, el remojo de las unidades, los refuerzos, la viga collar y el revestimiento final. De esta manera, el módulo permitió representar una alternativa constructiva orientada a viviendas de interés social.

4.5.2 Criterios normativos considerados

Para la elaboración del prototipo experimental se tomaron como referencia varios criterios de la Norma Peruana E.080, especialmente aquellos relacionados con la construcción de edificaciones de adobe reforzado. La norma establece que las construcciones de tierra deben buscar un comportamiento seguro, evitando fallas frágiles y colapsos súbitos, especialmente en contextos sísmicos (MVCS, 2017).

En este sentido, el módulo se construyó a partir de varios criterios técnicos y constructivos. Como unidad básica se empleó adobe elaborado con tierra cruda, al que se incorporó paja y fibras naturales para controlar la aparición de fisuras. La unión entre las unidades se realizó mediante mortero de barro de 1,5 a 2 cm, y previo a su colocación, los adobes fueron remojados con el fin de mejorar su adherencia con el mortero.

En cuanto a la mampostería, se cuidó el espesor de las juntas y se evitó que las juntas verticales quedaran alineadas de forma continua, buscando una mejor distribución de las cargas sobre el muro. Este se levantó con un espesor de 0,40 m e incorporó refuerzos tanto verticales como horizontales, además de una viga collar en la parte superior, en concordancia con los criterios de confinamiento propios de la construcción en tierra reforzada.

El espesor de 0,40 m corresponde al mínimo que fija la Norma E.080 para muros de tierra reforzada (MVCS, 2017, art. 6.1). La misma norma limita la esbeltez vertical a seis veces el espesor y la horizontal a diez veces, de modo que con 0,40 m un muro puede alcanzar 2,40 m de altura y 4,00 m de largo libre entre arriostres, medidas suficientes para una vivienda social de una planta. El murete construido, de 1,25 m de alto, tiene una esbeltez vertical de 3,1 y queda dentro de esos límites.

Como comprobación de carga vertical, se consideró un muro de vivienda de 2,40 m de alto y 0,40 m de espesor. Con la densidad media de los adobes ensayados, de 1.760 kg/m³, el muro pesa unos 1.690 kg por metro lineal. Si se suma una cubierta liviana de madera y teja, con una carga conservadora de 250 kg/m² sobre un ancho tributario de 2 m, es decir, 500 kg por metro lineal, el esfuerzo en la base es de 0,55 kg/cm². La Norma E.080 fija una resistencia mínima de muretes de 6,12 kg/cm² y un coeficiente de seguridad de 3 cuando no se realizan ensayos de laboratorio, lo que da un esfuerzo admisible de 2,04 kg/cm² (MVCS, 2017, arts. 8.4 y 9). El muro trabaja, por tanto, a cerca de la cuarta parte de su capacidad admisible. Esta verificación se limita a las cargas verticales y no reemplaza un diseño sísmico de la vivienda completa.

Durante el proceso de secado se protegió el muro de la exposición directa al sol y al viento, y una vez seco se aplicó un revoque de barro como capa de protección frente a agentes externos.

4.5.3 Dimensiones generales del módulo

El prototipo experimental se concibió como un murete de aproximadamente 1 m² de superficie frontal. Sus dimensiones finales fueron de 0,80 m de largo por 1,25 m de alto, con lo que se alcanzó un área frontal de 1,00 m². El espesor del muro fue de 0,40 m, logrado mediante la colocación de adobes en doble bloque, lo que permitió representar un espesor adecuado para un muro de adobe portante.

Para este módulo se emplearon adobes de formato tradicional ecuatoriano, con dimensiones aproximadas de 40 cm de largo, 20 cm de ancho y 18 cm de alto. Esta medida corresponde al uso tradicional en Ecuador, aunque supera la altura de 8 a 12 cm que establece la Norma E.080 para las unidades de adobe (MVCS, 2017, art. 18). Se mantuvo el formato local por

ser el que se fabrica y utiliza en la zona, y el espesor de 0,40 m del muro se obtuvo colocando dos adobes de 20 cm de ancho uno junto al otro.

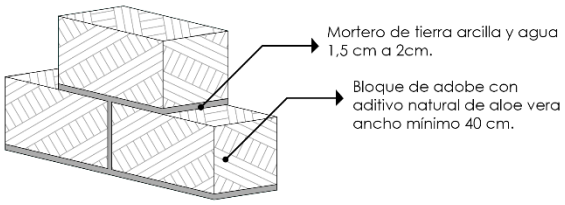


Figura 45 Detalle de colocación de mortero de tierra y bloque de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

En total se emplearon 24 bloques de adobe, distribuidos en seis hiladas. Los bloques no se dispusieron de forma lineal ni simplemente apilada, sino trabados entre hiladas, con el fin de mejorar la continuidad del muro y evitar que se formaran juntas verticales continuas.

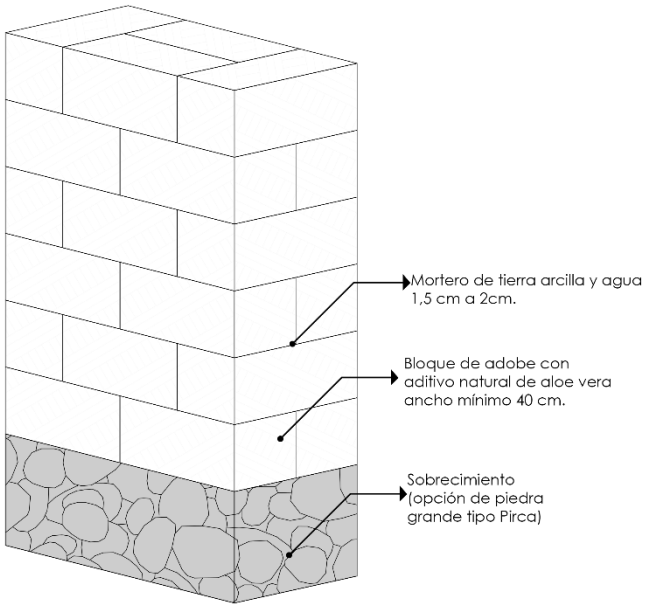


Figura 46 Detalle de colocación de bloques sobre sobrecimiento de piedra, propuesta para vivienda. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Preparación del mortero de barro

El mortero empleado para asentar los adobes se elaboró con tierra seleccionada y agua. Para prepararlo, se buscó equilibrar dos tipos de tierra con comportamiento distinto: una de mayor contenido arcilloso y otra más arenosa. Esta combinación permitió lograr un mortero con la plasticidad suficiente para adherirse a los adobes, sin que el exceso de arcilla generara fisuras importantes durante el secado.

La dosificación práctica utilizada fue la siguiente:

- 3,5 carretillas de tierra arcillosa
- 3 carretillas de tierra arenosa
- 5 baldes de agua

La mezcla se dejó reposar durante dos días, lo que permitió hidratar las partículas finas y activar la arcilla. Después se volvió a batir antes de su aplicación, hasta alcanzar una consistencia plástica y trabajable.



Figura 47 Elaboración de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Este reposo previo resultó importante porque favoreció una mejor integración entre el agua y las partículas del suelo, con lo cual el mortero ganó homogeneidad al momento de colocarse entre los adobes.



Figura 48 Secado de bloques de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

No se incorporó paja al mortero de asentamiento, ya que se buscaba una mezcla más limpia y manejable para las juntas; esta se reservó para el revoque final, donde cumple un papel más relevante en el control de fisuras superficiales.



Figura 49 Colocación en traba de adobes para la elaboración del murete [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.5 Preparación de los adobes antes del asentamiento

Antes de colocar cada adobe en el muro, las unidades se humedecieron durante aproximadamente 30 segundos, lo que ayudó a mejorar la adherencia entre el adobe y el mortero y evitó que el bloque seco absorbiera rápidamente el agua del barro de junta.

Además de este remojo general, se humedecieron con una esponja las caras laterales de los bloques antes de recibir el mortero, procedimiento que favoreció una unión más adecuada entre adobe y mortero y redujo la posibilidad de desprendimientos o juntas débiles.



Figura 50 Humectación de bloques para la adherencia de bloque con bloque. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

Esta humectación previa resultó especialmente necesaria dado que los adobes se encontraban secos: si se colocan en ese estado, tienden a absorber el agua del mortero de forma acelerada, lo que afecta la adherencia y genera una junta menos uniforme.

4.5.6 Base y sobrecimiento

El módulo se levantó directamente sobre el terreno, sin sobrecimiento físico, dado su carácter demostrativo. Sobre la base se extendió únicamente una primera capa de mortero de barro,

cuya función fue servir de apoyo a la hilada inicial y corregir pequeñas irregularidades del suelo. Esta capa no cumple ni sustituye la función de un sobrecimiento.

Debe señalarse que esta omisión responde exclusivamente al alcance del módulo, que se limitó a representar el levantamiento del muro portante de adobe. En ningún caso constituye una simplificación admisible para una construcción real. La Norma E.080 establece un sobrecimiento de 0,30 m de altura mínima como elemento obligatorio en toda edificación de tierra reforzada, junto con el cimiento de piedra y el zócalo (MVCS, 2017).

Su función es determinante para la durabilidad del sistema: aísla el muro de la humedad capilar ascendente, lo protege de las salpicaduras de lluvia y de la erosión en su arranque, y mejora la respuesta frente a los esfuerzos cortantes generados por los sismos. Como se indicó en el apartado 2.3.10, impermeabilizar adecuadamente este elemento puede prolongar de forma considerable la vida útil del muro (Arévalo & Mina, 2024).

Por lo anterior, la aplicación del adobe con 15 % de mucílago de aloe vera en viviendas de interés social debe contemplar obligatoriamente el sistema de protección completo previsto en la normativa: cimiento de piedra, sobrecimiento de 0,30 m como mínimo, zócalo, revoque y drenaje perimetral con pendiente hacia el exterior.

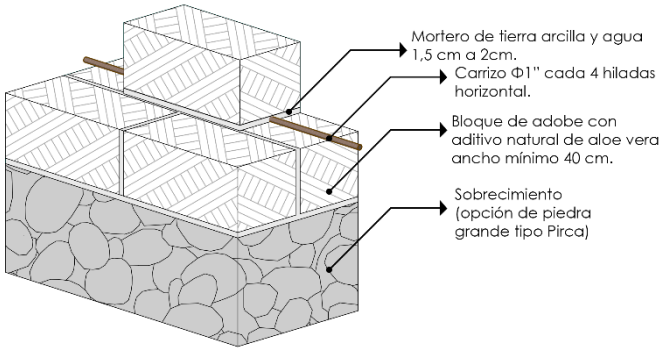


Figura 51 Detalle de colocación del carrizo en murete. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.7 Colocación de la primera hilada

La primera hilada resultó determinante para la estabilidad y alineación del murete. Para colocarla, se extendió una capa inicial de mortero sobre la base, procurando mantener un espesor de junta cercano a los 2 cm.

Los adobes se colocaron manualmente sobre el mortero, verificando su alineación con nivel y plomada. Como esta hilada sirvió de guía para el resto del muro, se puso especial cuidado en la horizontalidad, la continuidad de la junta y el apoyo completo de cada bloque.

El espesor de las juntas se mantuvo alrededor de 2 cm, valor que permite una unión adecuada entre bloques sin volverlas excesivamente gruesas. Durante el asentamiento se retiró el exceso de mortero, tanto en juntas horizontales como verticales, con el fin de mantener limpio el aparejo y evitar acumulaciones innecesarias de barro.



Figura 52 Elaboración del murete de adobe. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.8 Aparejo y trabado de los adobes

Los adobes no se colocaron alineados unos sobre otros, sino alternados y trabados entre hiladas, criterio que se aplicó para evitar la continuidad de juntas verticales, mejorar la estabilidad del murete y lograr una mayor integración entre unidades.

Cada adobe medía aproximadamente 40 cm de largo por 20 cm de ancho. Para alcanzar un espesor de muro de 40 cm, se colocaron dos adobes juntos en el sentido del ancho, mientras

que en el sentido longitudinal del murete se organizaron dos adobes de 40 cm, lo que dio una longitud aproximada de 80 cm por hilada.

La primera hilada se armó con bloques dispuestos en sentido longitudinal, unidos con mortero de barro. En la hilada siguiente, los adobes se colocaron de forma alternada: en los extremos se ubicaron bloques en sentido contrario, mientras que en la parte central se mantuvieron en sentido longitudinal. Esta disposición se repitió progresivamente en las hiladas superiores, lo que generó un amarre entre bloques y evitó que las juntas coincidieran verticalmente.

Esta técnica permitió formar una mampostería trabada, en la que cada hilada contribuye a unir y estabilizar la anterior. De este modo, el murete no quedó conformado por adobes simplemente apilados, sino por un sistema de albañilería con mayor continuidad estructural.

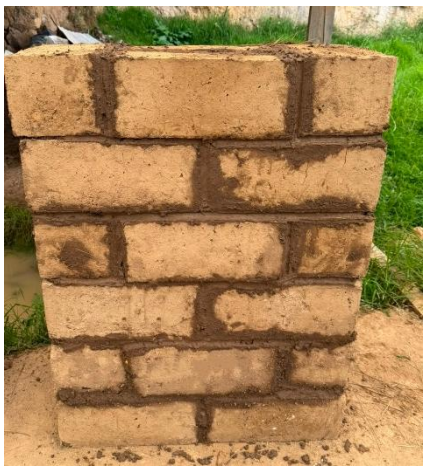


Figura 53 Murete sin acabados. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.9 Control de niveles, plomada y juntas

Durante el levantamiento del módulo se utilizaron nivel y plomada para controlar la horizontalidad y verticalidad del muro, lo cual fue importante para evitar que se acumularan inclinaciones a medida que avanzaban las hiladas.

Cada nueva hilada se revisó antes de continuar con la siguiente, verificando que los bloques quedaran bien asentados y que el mortero llenara correctamente las juntas. El exceso de mortero se retiró durante el proceso, evitando acumulaciones que pudieran afectar la regularidad del muro o generar puntos débiles.

El control de juntas fue uno de los aspectos más cuidados del proceso: las horizontales se mantuvieron con un espesor aproximado de 2 cm, mientras que las verticales se alternaron mediante el aparejo trabado. Este procedimiento mejoró la continuidad del muro y redujo la posibilidad de que se formaran fisuras verticales continuas.

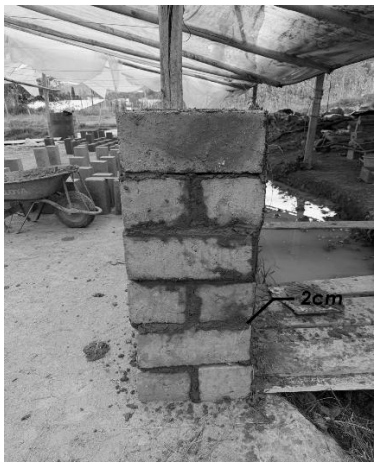


Figura 54 Dimensión de las trabas para colocación del mortero. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.10 Incorporación de refuerzos de carrizo

Con el fin de mejorar el comportamiento del murete y representar un sistema de adobe reforzado, se incorporaron refuerzos de carrizo en sentido horizontal y vertical. Esta decisión se apoyó en los criterios de la Norma Peruana E.080, que recomienda emplear refuerzos compatibles con la tierra, en particular materiales flexibles y de baja dureza que no dañen el muro ante posibles deformaciones.

El carrizo se eligió por ser un material natural, económico, liviano y de fácil acceso en contextos rurales. Su compatibilidad con la tierra lo convierte, además, en una alternativa

adecuada para viviendas de interés social, ya que permite reforzar el muro sin depender necesariamente de materiales industriales de mayor costo.

Los refuerzos horizontales se colocaron cada cuatro hiladas, integrándose con el mortero de barro, mientras que los verticales aportaron continuidad entre hiladas y mejoraron la capacidad del muro para controlar desplazamientos. Combinar refuerzos en ambas direcciones permitió representar un sistema más estable frente a posibles esfuerzos laterales.

Se emplearon cañas de carrizo de una pulgada de diámetro, colocadas en vertical cada 38 cm y en horizontal cada cuatro hiladas (Figura 56). El diámetro coincide con el de unos 25 mm que establece la Norma E.080 para los refuerzos de caña. Sin embargo, la norma coloca el refuerzo horizontal cada cuatro hiladas en el tercio inferior del muro, cada tres en el tercio central y cada dos en el tercio superior, pensando en adobes de 8 a 12 cm de altura (MVCS, 2017). Con los adobes de 18 cm empleados aquí, cuatro hiladas equivalen a unos 80 cm, una separación mayor que la prevista. Por ello, en una vivienda real se recomienda colocar el refuerzo horizontal cada tres hiladas en el tercio inferior, cada dos en el tercio central y en cada hilada en el tercio superior, para aproximarse a las separaciones de la norma.

Al tratarse de un módulo demostrativo de 1 m², la distribución del carrizo se adaptó a la escala del murete; aun así, se mantuvo el criterio fundamental de trabajar con refuerzos horizontales y verticales, evitando que el muro dependiera únicamente de la unión entre adobes y mortero.



Figura 55 Colocación de mortero. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.11 Viga collar superior

En la parte superior del murete se incorporó una viga collar, elemento de amarre que ayuda a integrar la coronación del muro y a mejorar su comportamiento como conjunto. En las construcciones de tierra, este elemento cumple una función relevante, ya que conecta la parte superior de los muros y contribuye a distribuir los esfuerzos.

En el murete experimental, la viga collar permitió cerrar el sistema constructivo, integrando el muro y los refuerzos. Su colocación no responde solo a un criterio formal, sino también estructural dentro del enfoque de adobe reforzado, pues evita que las hiladas superiores trabajen de manera independiente.

En una vivienda real, este elemento debe vincularse adecuadamente con los refuerzos verticales y con el sistema de cubierta. En el módulo realizado, se representó este principio constructivo como parte del proceso de aplicación del adobe con 15 % de mucílago dentro de un sistema de muro reforzado.

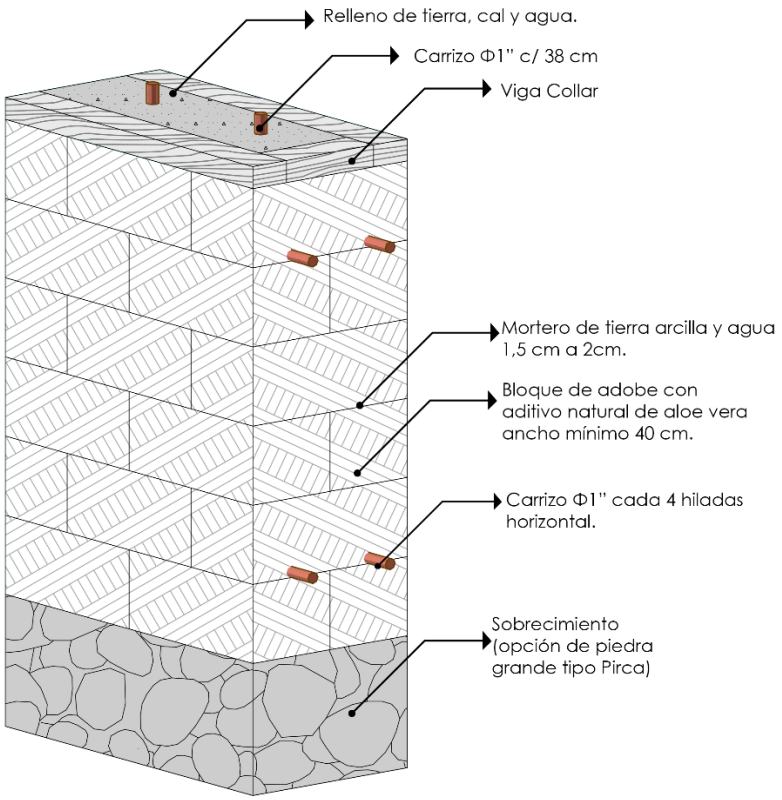


Figura 56 Detalle de muro de adobe con refuerzos y sobrecimiento, propuesta para vivienda. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.12 Revoque de barro con paja y estiércol de caballo

Una vez levantado el murete, se aplicó un revoque de barro como capa de protección superficial. Para prepararlo se utilizó una mezcla de tierra y agua, que se dejó reposar durante tres días antes de aplicarla, lo que mejoró su trabajabilidad y permitió obtener una mezcla más homogénea.

A diferencia del mortero de junta, en este revoque sí se incorporaron paja y estiércol de caballo, empleados como fibras naturales dentro de la mezcla con el objetivo de mejorar la cohesión superficial y controlar la aparición de fisuras durante el secado.

El estiércol de caballo se utilizó por su contenido fibroso, ya que dentro de las técnicas tradicionales de construcción con tierra se emplea como componente orgánico que refuerza

el revoque y mejora su adherencia; en este caso, su función principal fue aportar fibras finas que ayudaran a controlar las retracciones superficiales.

El revoque cumplió un papel importante dentro del módulo: protegió el adobe de la acción directa del ambiente, mejoró la terminación superficial del muro y representó una práctica tradicional aplicable a viviendas de tierra.



Figura 57 Colocación del revoque de tierra en el murete. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.5.13 Secado y protección del módulo

El murete se levantó en un solo día y luego permaneció a la intemperie. Para evitar un secado demasiado rápido y protegerlo de la lluvia o la humedad directa, se colocó una capa de plástico en su parte superior.

Esta protección resultó necesaria porque los muros de tierra son sensibles al agua durante las primeras etapas del secado: un secado brusco puede generar fisuras, mientras que la exposición directa a la lluvia puede debilitar el mortero y dañar la superficie del muro.

En observaciones posteriores no se detectó desprendimiento del mortero ni fisuras visibles en las juntas o en los bloques, y el murete conservó su estabilidad y verticalidad tras el proceso de secado inicial.

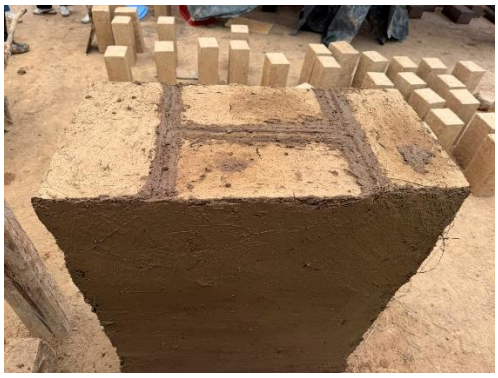


Figura 58 Secado del murete hecho su revoque. [imagen].

Fuente: Elaboración propia

4.6 Evaluación constructiva del murete terminado

El módulo experimental permitió comprobar la aplicación constructiva del adobe con 15 % de mucílago de aloe vera dentro de un sistema de muro de mayor escala. A diferencia del ensayo de compresión realizado sobre unidades individuales, este murete hizo posible observar el comportamiento del material dentro de una albañilería real, considerando la interacción entre bloque, mortero, refuerzo, aparejo y revoque.

Emplear el adobe con 15 % de mucílago permitió mantener una lógica constructiva coherente con los resultados obtenidos previamente, ya que esta dosificación se había seleccionado por su uniformidad, cohesión y mejor comportamiento post-falla. Al aplicarla en el murete, se buscó demostrar cómo esta mezcla puede integrarse en un sistema constructivo reforzado y accesible.

El aparejo trabado evitó juntas verticales continuas, el espesor de 40 cm dio lugar a una sección robusta, los refuerzos de carrizo aportaron continuidad horizontal y vertical, y la viga collar permitió integrar la parte superior del muro. A esto se sumó el revoque de barro con fibras naturales, que funcionó como capa de protección superficial.

Desde una perspectiva arquitectónica y social, el murete representa una alternativa aplicable a viviendas de interés social rural, pues combina materiales locales, técnicas tradicionales y

criterios de refuerzo ejecutables a bajo costo. Esta propuesta no reemplaza el diseño estructural profesional de una vivienda completa, pero sí demuestra que el adobe estabilizado con 15 % de aloe vera puede integrarse en un sistema constructivo más seguro y ordenado.

En definitiva, el módulo experimental funciona como una representación práctica de la investigación: primero se identificó la dosificación más adecuada mediante los ensayos de compresión, y posteriormente se aplicó dicha dosificación en un muro demostrativo reforzado, con el propósito de aproximarse a un sistema constructivo viable para contextos rurales y viviendas de interés social.

Para justificar la elección del sistema, la tabla siguiente lo compara con el adobe tradicional y con dos alternativas de uso común en la vivienda social: la mampostería de bloque de hormigón y la de ladrillo.

Criterio	**Adobe con 15 % de aloe vera (propuesta)**	**Adobe tradicional**	**Bloque de hormigón**	**Ladrillo**
Resistencia a compresión de la unidad	9,62 kg/cm²	9,94 kg/cm²	Mayor	Mayor
Variación entre unidades	2,3 %	7,9 %	Baja, fabricación industrial	Variable si es artesanal
Espesor habitual del muro	0,40 m	0,40 m	0,10 a 0,15 m	0,10 a 0,15 m

Criterio	Adobe con 15 % de aloe vera (propuesta)	Adobe tradicional	Bloque de hormigón	Ladrillo
Fabricación	Secado al sol, sin cocción	Secado al sol, sin cocción	Requiere cemento	Requiere cocción en horno
Origen de los materiales	Tierra, paja, carrizo y aloe del lugar	Tierra y paja del lugar	Cemento y áridos industriales	Arcilla cocida
Comportamiento térmico	Alta inercia térmica	Alta inercia térmica	Menor inercia	Inercia media
Facilidad de autoconstrucción	Alta, técnica tradicional	Alta	Media	Media
Protección frente a la humedad	Exige sobrecimiento, revoque y drenaje	Exige sobrecimiento, revoque y drenaje	Menor exigencia	Menor exigencia
Respaldo normativo en Ecuador	Sin norma propia; se usa la E.080 peruana	Sin norma propia	NEC-SE-VIVIENDA	NEC-SE-VIVIENDA
Costo directo por m² de muro	69,72 USD	65,72 USD	47,42 USD	48,01 USD

Tabla 12 Comparación del muro propuesto con otras alternativas constructivas

Fuente: *Elaboración propia*

La comparación muestra que el muro de adobe con 15 % de aloe vera no compite con el bloque ni con el ladrillo en resistencia de la unidad, en costo directo ni en área útil, ya que su espesor de 0,40 m ocupa más superficie en planta. Sus ventajas están en otros criterios: emplea materiales del lugar que no requieren cocción ni cemento, se adapta a la autoconstrucción y ofrece una alta inercia térmica (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012). Frente al adobe tradicional, además, produce unidades más uniformes y con una falla más progresiva. A cambio, exige un sistema completo de protección frente a la humedad y de refuerzo sísmico. Por estas razones, la propuesta resulta pertinente para la vivienda social rural, donde el acceso a materiales locales y la participación de las familias en la construcción pesan tanto como la resistencia del material.

4.7 Presupuesto referencial

Como el módulo experimental tiene 1 m² de superficie frontal, su costo coincide con el de 1 m² de muro terminado. La tabla siguiente presenta el presupuesto referencial a partir de los costos registrados durante su construcción: cada adobe de 40 × 20 × 18 cm tuvo un costo de 1,50 USD, que incluye la tierra, la paja y el carrizo, y la planta de aloe vera utilizada costó 4,00 USD. La mano de obra se valoró con los costos horarios oficiales de 2026 (Contraloría General del Estado, 2026), considerando una cuadrilla de un albañil y un peón con un rendimiento de una hora por metro cuadrado para el levantamiento y otra para el revoque. La madera de la viga collar fue donada, por lo que su costo se estimó con el precio de referencia de la madera aserrada para vigas en Ecuador (CYPE Ingenieros, s.f.-d). La tierra del mortero y del revoque, la paja y el estiércol se obtuvieron en el sitio, sin costo monetario.

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Adobe de 40 × 20 × 18 cm (incluye tierra, paja y carrizo)	u	24	1,50	36,00
Aloe vera (planta entera)	u	1	4,00	4,00
Viga collar de madera de eucalipto y guayacán.	m	0,80	14,24	11,39
Tierra para mortero y revoque, paja y estiércol	–	–	–	0,00
Albañil (D2), levantamiento	h	1,00	4,39	4,39
Peón (E2), levantamiento	h	1,00	4,34	4,34
Albañil (D2), revoque	h	1,00	4,39	4,39
Peón (E2), revoque	h	1,00	4,34	4,34
Herramienta menor (5 % de la mano de obra)	%	5	17,46	0,87
Costo directo por m² de muro terminado				**69,72**

Tabla 13 Presupuesto referencial de 1 m² de muro de adobe con 15 % de mucílago de aloe vera

Fuente: *Elaboración propia a partir de los costos del módulo experimental y de Contraloría General del Estado (2026).*

El costo directo resultante es de 69,72 USD por m² de muro terminado. El aloe vera representa apenas 4,00 USD de ese total, el 5,7 %, equivalente a unos 0,17 USD por adobe;

sin el aditivo, el mismo muro costaría 65,72 USD por m². El rubro de mayor peso es el adobe, con 36,00 USD por m², porque el muro de 0,40 m de espesor requiere 24 unidades por metro cuadrado. Si la mano de obra la aporta la propia familia, como es habitual en la autoconstrucción rural, el desembolso monetario se reduce a 51,39 USD por m².

Como referencia, un muro de bloque de hormigón de 15 cm cuesta 27,10 USD por m² y uno de ladrillo cerámico de 11 cm, 27,69 USD por m² (CYPE Ingenieros, s.f.-b, s.f.-c); con un enlucido de cemento de 10,16 USD por m² en cada cara (CYPE Ingenieros, s.f.-a), el costo sube a 47,42 y 48,01 USD por m², respectivamente. El muro propuesto resulta, por tanto, entre 45 % y 47 % más costoso por metro cuadrado, aunque esos valores no incluyen las columnas y vigas de hormigón armado que la mampostería de bloque o de ladrillo requiere en una vivienda. La viabilidad económica del sistema no se apoya en un menor costo directo por metro cuadrado, sino en el uso de materiales locales que no requieren cemento ni cocción, en la posibilidad de autoconstrucción y en el bajo costo del aditivo, que encarece el muro en menos del 6 %.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El suelo del sector de San Bartolomé, clasificado como arena arcillosa con presencia importante de arena y finos plásticos, presentó condiciones adecuadas para la elaboración de bloques de adobe, al ofrecer plasticidad, cohesión y buena capacidad de moldeado.

2. La incorporación de mucílago de aloe vera no incrementó la resistencia máxima a compresión del adobe. El adobe patrón (0 % de aditivo) alcanzó el mayor promedio, con un valor aproximado de 9,94 kg/cm², por lo que el aloe vera no debe entenderse como un aditivo orientado a aumentar la carga máxima del bloque.

3. Las tres mezclas con aloe vera presentaron menor dispersión que el adobe patrón (coeficientes de variación de 5,1 %, 5,5 % y 2,3 %, frente a 7,9 %), y la del 15 % fue claramente la más uniforme. Las dosificaciones del 10 % y 15 % mostraron, además, una pérdida de resistencia más progresiva después del punto de ruptura, lo que sugiere que el mucílago mejora la cohesión interna del adobe y reduce su comportamiento frágil.

4. La dosificación del 15 % de aloe vera resultó la más adecuada entre las mezclas con aditivo, al alcanzar el mayor promedio dentro de este grupo (9,62 kg/cm²) y mantener resultados individuales dentro de un rango reducido, entre 9,32 y 9,91 kg/cm², con un coeficiente de variación de 2,3 % frente a 7,9 % del patrón, lo que refleja un comportamiento más estable y predecible.

5. Los promedios de resistencia, de 0,92 a 0,97 MPa, quedaron cerca pero por debajo del mínimo de 1,0 MPa que la Norma E.080 exige a las unidades de adobe. Aunque el ensayo

realizado no es idéntico al de la norma, este resultado indica que el adobe estudiado debe emplearse siempre dentro de un sistema reforzado.

6. La resistencia máxima no debe ser el único criterio para evaluar un adobe destinado a vivienda social; la uniformidad entre piezas, la forma de falla, la capacidad de mantener resistencia después del quiebre y la estabilidad del sistema constructivo completo son igualmente relevantes.

7. El módulo experimental de muro permitió comprobar que el adobe estabilizado con 15 % de aloe vera puede integrarse en una albañilería de tierra cuando se aplican buenas prácticas constructivas: remojo previo de las unidades, control del espesor de juntas, aparejo trabado, refuerzos horizontales y verticales, viga collar y protección superficial mediante revoque de barro.

8. El control de humedad, tanto en la fabricación de los bloques como en la construcción del murete, influye directamente en la plasticidad de la mezcla, la contracción durante el secado y la resistencia final del adobe.

9. El secado constituye una etapa determinante en la calidad del adobe; el proceso natural, con volteo periódico y exposición controlada durante aproximadamente dos meses, ayudó a reducir fisuras y a obtener unidades aptas para ensayo.

10. El adobe con mucílago de aloe vera representa una alternativa técnica y sostenible para la vivienda de interés social, ya que permite recuperar una técnica constructiva local con criterios más rigurosos, sin reemplazar los sistemas convencionales.

11. El aporte principal de la investigación no fue demostrar un aumento en la resistencia máxima del adobe, sino evidenciar una mejora en su comportamiento integral, reflejada en

mayor uniformidad, mejor cohesión interna y una respuesta menos frágil después del punto de falla.

12. El costo directo de 1 m² de muro terminado se estimó en 69,72 USD, de los cuales el aloe vera representa solo 4,00 USD (5,7 %). El muro resulta entre 45 % y 47 % más costoso que uno de bloque o de ladrillo enlucido, sin contar las columnas y vigas de hormigón que estos requieren; si la familia aporta la mano de obra, el desembolso se reduce a 51,39 USD por m². Su viabilidad económica depende, por tanto, de la autoconstrucción y del uso de materiales del lugar, más que de un menor costo directo.

RECOMENDACIONES

1. Realizar siempre una caracterización básica del suelo antes de fabricar adobes para uso constructivo, que incluya contenido de humedad (ASTM D2216), granulometría (ASTM D6913), límites de Atterberg (ASTM D4318) y clasificación SUCS (ASTM D2487), complementada con las pruebas de campo de la Norma E.080: cinta de barro y resistencia seca.

2. No presentar el aloe vera como un aditivo para obtener adobes más resistentes en términos de carga máxima, sino como un estabilizante natural que mejora la uniformidad y la forma de falla del material.

3. Continuar investigando el efecto del aloe vera en la ductilidad, la resistencia residual, la absorción de agua y la durabilidad, mediante ensayos de absorción por capilaridad, erosión acelerada y ciclos de humedecimiento y secado, como los que describe la norma UNE 41410 para bloques de tierra, y de tracción indirecta según el artículo 8.2 de la Norma E.080.

4. Tomar la dosificación del 15 % como punto de partida para futuras investigaciones e incorporar porcentajes cercanos (por ejemplo, 12 %, 15 % y 18 %), con al menos seis muestras por dosificación ensayadas en cubos de 10 cm, como establece el artículo 8.1 de la Norma E.080, y expresar el aditivo también como porcentaje de la masa de suelo seco.

5. Reportar en los ensayos de compresión no solo el valor máximo, sino también el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y la curva de carga y deformación de cada muestra.

6. Construir muretes similares y ensayarlos a los 28 días a compresión axial y a compresión diagonal, con seis muestras por tipo, y comparar los resultados con los mínimos de la Norma E.080: 0,6 MPa a compresión (artículo 8.4) y 0,025 MPa a tracción diagonal (artículo 8.5). El ensayo diagonal puede seguir la norma ASTM E519.

7. Incorporar siempre sistemas de refuerzo compatibles con la tierra, como carrizo, madera y viga collar, con la separación y el diámetro que indica el artículo 6 de la Norma E.080, especialmente en zonas de amenaza sísmica alta como Cuenca.

8. Medir el agua de cada mezcla en litros o kilogramos y determinar la humedad inicial del suelo por secado al horno (ASTM D2216), para que la dosificación sea reproducible.

9. Evitar el secado directo y acelerado bajo sol intenso o viento fuerte, y favorecer un secado lento en espacios ventilados y protegidos de la lluvia.

10. Acompañar el uso del adobe con aloe vera de capacitación técnica, control de calidad y asesoría profesional, en particular cuando se pretenda aplicar en viviendas habitables.

11. Caracterizar el suelo de la parroquia Ricaurte con los mismos ensayos de esta investigación antes de aplicar el sistema allí, ya que los adobes ensayados se elaboraron con tierra de San Bartolomé.

12. Actualizar el presupuesto referencial con precios locales al momento de construir y evaluar el costo del sistema en una vivienda completa, incluyendo cimentación, sobrecimiento y cubierta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo Ordóñez, J. S., & Mina Bautista, S. A. (2024). *Diseño de prototipo de panel prefabricado a base del adobillo mejorado de tierra, empleando criterios de sostenibilidad ambiental* [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca].

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques: Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo* (UNE 41410:2008). AENOR.

ASTM International. (2017). *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)* (ASTM D2487-17).

ASTM International. (2017). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils* (ASTM D4318-17).

ASTM International. (2017). *Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis* (ASTM D6913/D6913M-17).

ASTM International. (2019). *Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass* (ASTM D2216-19).

ASTM International. (2022). *Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages* (ASTM E519/E519M-22).

Calderón, M. (2021). *Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción tradicionales*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Carazas, A., & Rivero, R. (2002). *Composición y comportamiento del adobe*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Chang, I., Im, J., & Cho, G.-C. (2016). Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability, 8*(3), 251.

Cisneros Felipa, L. E., & Padilla Rojas, I. R. (2023). *Diseño de bloques de adobe adicionando mucílago de nopal y fibras de plumas de pollo para mejorar su resistencia mecánica* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

Contraloría General del Estado. (2026). *Salarios mínimos por ley 2026*. https://www.contraloria.gob.ec/WFDescarga.aspx?id=2821&tipo=doc

CYPE Ingenieros. (s.f.-a). *Enfoscado de cemento sobre paramento interior* [Generador de precios de la construcción, Ecuador]. https://ecuador.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Revestimientos/Conglomerados_tradicionales/Enfoscados/RPE005_Enfoscado_de_cemento_sobre_parament.html

CYPE Ingenieros. (s.f.-b). *Fachada de una hoja, de mampostería de ladrillo cerámico para revestir* [Generador de precios de la construcción, Ecuador]. https://ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas_y_particiones/Mamposteria_no_estructural/Fachada_de_una_hoja_para_revestir/FFF010_Fachada_de_una_hoja__de_mamposteria.html

CYPE Ingenieros. (s.f.-c). *Muro de mampostería reforzada, de bloque de hormigón* [Generador de precios de la construcción, Ecuador]. https://ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas_y_particiones/Mamposteria_estructural/Muros_de_mamposteria_reforzada/FEA020_Muro_de_mamposteria_reforzada__de_b.html

CYPE Ingenieros. (s.f.-d). *Viga de madera aserrada* [Generador de precios de la construcción, Ecuador]. https://ecuador.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Madera/Vigas/Viga_de_madera_aserrada_0_0_0_0_0_0_0_1.html

Echeverría Almeida, J. (2011). *Glosario de arqueología y temas afines* (Tomo I). Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.

El Universo. (2020, 14 de marzo). *Ricaurte, una parroquia de Cuenca que rescata identidad*. https://www.eluniverso.com/noticias/2020/03/14/nota/7780788/ricaurte-parroquia-cuenca-que-rescata-identidad/

GAD Parroquial de Ricaurte. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Ricaurte*.

García, J. M. (2021). *The behavioral effects of natural fiber reinforcement and stabilizers on bond strength and laterally loaded adobe walls* [Tesis de maestría, New Mexico State University].

Haesebrouck, L., & Michiels, T. (2011). *Improving durability of adobe: A case study for Cuenca*. Katholieke Universiteit Leuven.

Hamman, J. H. (2008). Composition and applications of Aloe vera leaf gel. *Molecules, 13*(8), 1599–1616.

Hidalgo Barros, P. A., & Ramos Zeas, D. A. (2024). *La generación de centralidades comerciales y de servicios en el periurbano de Cuenca. Caso de estudio la parroquia Ricaurte* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45436

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2001). *VI Censo de Población y V de Vivienda 2001: Resultados del cantón Cuenca*. INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *VIII Censo de Población y VII de Vivienda 2022*. INEC.

Jara, D. F., Rodas, T. E., & Caldas, V. M. (s.f.). *Las innovaciones tecnológicas como respuesta a las debilidades y aprovechamiento de potencialidades en el sistema constructivo tradicional del adobe*. 15º SIACOT, Universidad de Cuenca.

Jiménez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Avilés, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto. *Maskana, 9*(1), 59–78. https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.07

Lara, L. (2017). Patología de la construcción en tierra cruda en el área andina ecuatoriana. *AUC Revista de Arquitectura*.

Lara, M. L., & Bustamante, R. (2022). Caracterización y patología de los muros de tierra de las construcciones andinas ecuatorianas. *Revista Politécnica, 49*(2).

Losini, A. E., Grillet, A. C., Bellotto, M., Woloszyn, M., & Dotelli, G. (2021). Natural additives and biopolymers for raw earth construction stabilization – a review. *Construction and Building Materials, 304*, 124507.

Medina Herrera, A. N., & Rojas Murrugarra, J. E. (2022). *Resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con adición de gel de Aloe vera – Cajamarca* [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca].

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014a). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS: Peligro sísmico, diseño sismo resistente*. MIDUVI.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014b). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*. MIDUVI.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. (2017). *Norma Técnica E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada*. MVCS.

Minke, G. (1994). *Manual de construcción en tierra*. Editorial Nordan Comunidad.

Orellana Calle, V. (2017). *Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservación de una cultura constructiva* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials, 29*, 512–519.

Parroquias de Cuenca. (2016, 25 de junio). *Parroquia Ricaurte*. https://parroquiascuenca.wordpress.com/2016/06/25/parroquia-ricaurte/

Rodríguez Cuervo, L. S. (2020). Adobe bricks with sugarcane molasses and gypsum to enhance compressive strength. *Revista de la Construcción, 19*(3), 358–365.

Shariful, H., & Iwashita, T. (2006). Mechanical behavior of jute fiber reinforced earth mortar. *Journal of Natural Fibers, 3*(4), 45–57.

Theng, B. K. G. (2012). *Formation and properties of clay-polymer complexes* (2.ª ed.). Elsevier.

UNESCO World Heritage Centre. (s.f.-a). *Bam and its cultural landscape*. https://whc.unesco.org/en/list/1208

UNESCO World Heritage Centre. (s.f.-b). *Chan Chan archaeological zone*. https://whc.unesco.org/en/list/366

UNESCO World Heritage Centre. (s.f.-c). *Old walled city of Shibam*. https://whc.unesco.org/en/list/192

Villacrés Mieles, I., & Zambrano Aguilar, P. B. (2006). *Análisis de producción y comercialización del cultivo de sábila aloe vera en Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/176

ANEXOS

Anexo 1 Test Adobe Resistencia 0_1.

Concrete Test

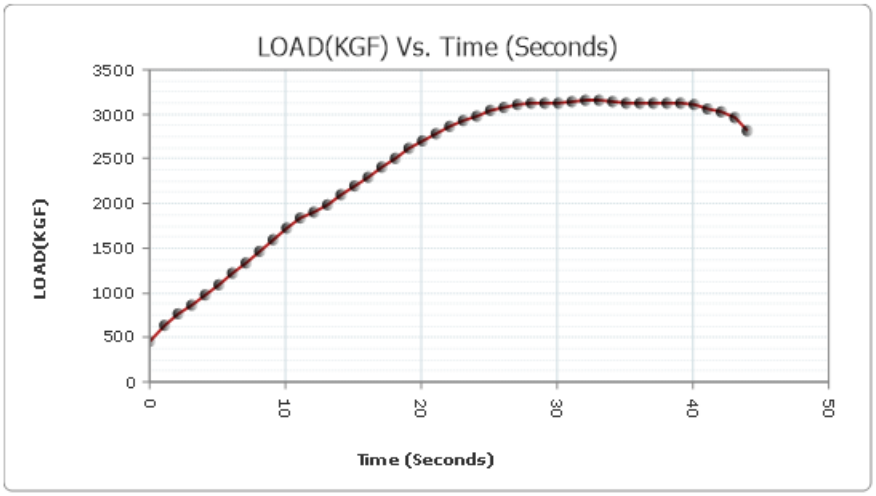
Test Type: ASTM C109/C109M

12/3/2026

Sample Identification: 0_1

Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3161	KGF
Cube Size	18.20	CM
Cross-Sectional Area	331.24	CM^2
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.54	KGFCM2
Average Pace Rate	105.00	KGF
Temperature @ START	11.9	°C
Temperature @ FINISH	12.0	°C



READ #	TIME	(KGF)	(KGFCM2)
1	000:00:00	463	1.40
2	000:00:01	639	1.93
3	000:00:02	767	2.32
4	000:00:03	868	2.62
5	000:00:04	977	2.95
6	000:00:05	1094	3.30
7	000:00:06	1217	3.67
8	000:00:07	1331	4.02
9	000:00:08	1460	4.41
10	000:00:09	1590	4.80
11	000:00:10	1721	5.20
12	000:00:11	1847	5.58
13	000:00:12	1912	5.77
14	000:00:13	1989	6.00
15	000:00:14	2093	6.32
16	000:00:15	2197	6.63
17	000:00:16	2297	6.93
18	000:00:17	2405	7.26
19	000:00:18	2512	7.58
20	000:00:19	2615	7.89
21	000:00:20	2702	8.16
22	000:00:21	2788	8.42
23	000:00:22	2866	8.65
24	000:00:23	2934	8.86
25	000:00:24	2987	9.02
26	000:00:25	3040	9.18
27	000:00:26	3082	9.30
28	000:00:27	3104	9.37
29	000:00:28	3127	9.44
30	000:00:29	3129	9.45
31	000:00:30	3125	9.43
32	000:00:31	3136	9.47
33	000:00:32	3152	9.52
34	000:00:33	3160	9.54
35	000:00:34	3141	9.48
36	000:00:35	3132	9.46
37	000:00:36	3128	9.44
38	000:00:37	3128	9.44
39	000:00:38	3127	9.44
40	000:00:39	3120	9.42
41	000:00:40	3102	9.36
42	000:00:41	3068	9.26
43	000:00:42	3025	9.13
44	000:00:43	2963	8.95
45	000:00:44	2824	8.53

Anexo 2 Test Adobe Resistencia 0_2.

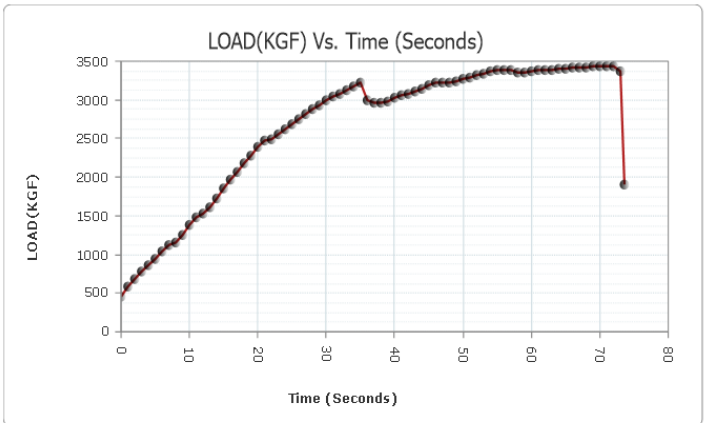
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 0_2
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3435	KGF
Cube Size	18.10	CM
Cross-Sectional Area	327.61	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	10.48	KGFCM2
Average Pace Rate	86.01	KGF
Temperature @ START	9.3	°C
Temperature @ FINISH	10.1	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2
1	000:00:00	457	1.39
2	000:00:01	585	1.79
3	000:00:02	689	2.10
4	000:00:03	779	2.38
5	000:00:04	867	2.65
6	000:00:05	946	2.89
7	000:00:06	1036	3.16
8	000:00:07	1118	3.41
9	000:00:08	1154	3.52
10	000:00:09	1261	3.85
11	000:00:10	1376	4.20
12	000:00:11	1486	4.54
13	000:00:12	1528	4.66
14	000:00:13	1609	4.91
15	000:00:14	1731	5.28
16	000:00:15	1854	5.66
17	000:00:16	1972	6.02
18	000:00:17	2070	6.32
19	000:00:18	2178	6.65
20	000:00:19	2283	6.97
21	000:00:20	2386	7.28
22	000:00:21	2471	7.54
23	000:00:22	2492	7.61
24	000:00:23	2560	7.81
25	000:00:24	2628	8.02
26	000:00:25	2684	8.19
27	000:00:26	2753	8.40
28	000:00:27	2813	8.59
29	000:00:28	2876	8.78
30	000:00:29	2937	8.96
31	000:00:30	2988	9.12
32	000:00:31	3042	9.29
33	000:00:32	3081	9.40
34	000:00:33	3123	9.53
35	000:00:34	3181	9.71
36	000:00:35	3228	9.85
37	000:00:36	2998	9.15
38	000:00:37	2969	9.06
39	000:00:38	2962	9.04
40	000:00:39	2978	9.09
41	000:00:40	3029	9.25
42	000:00:41	3057	9.33
43	000:00:42	3075	9.39
44	000:00:43	3112	9.50
45	000:00:44	3147	9.61
46	000:00:45	3188	9.73
47	000:00:46	3216	9.82
48	000:00:47	3221	9.83
49	000:00:48	3220	9.83
50	000:00:49	3243	9.90
51	000:00:50	3266	9.97
52	000:00:51	3291	10.05
53	000:00:52	3318	10.13
54	000:00:53	3343	10.20
55	000:00:54	3372	10.29

56	000:00:55	3387	10.34
57	000:00:56	3392	10.35
58	000:00:57	3378	10.31
59	000:00:58	3354	10.24
60	000:00:59	3359	10.25
61	000:01:00	3376	10.30
62	000:01:01	3383	10.33
63	000:01:02	3391	10.35
64	000:01:03	3393	10.36
65	000:01:04	3401	10.38
66	000:01:05	3407	10.40
67	000:01:06	3418	10.43
68	000:01:07	3421	10.44
69	000:01:08	3424	10.45
70	000:01:09	3429	10.47
71	000:01:10	3432	10.48
72	000:01:11	3434	10.48
73	000:01:12	3434	10.48
74	000:01:13	3367	10.28
75	000:01:13	1901	5.80

Anexo 3 Test Adobe Resistencia 0_3.

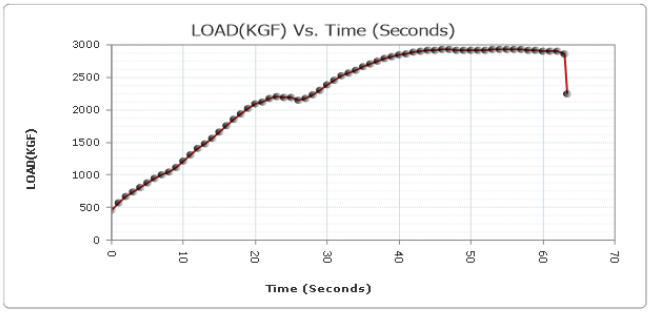
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 0_3
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	2937	KGF
Cube Size	18.20	CM
Cross-Sectional Area	331.24	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	8.87	KGFCM2
Average Pace Rate	59.54	KGF
Temperature @ START	12.6	°C
Temperature @ FINISH	12.3	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	457	1.38
2	000:00:01	579	1.75
3	000:00:02	672	2.03
4	000:00:03	740	2.23
5	000:00:04	810	2.45
6	000:00:05	878	2.65
7	000:00:06	951	2.87
8	000:00:07	1010	3.05
9	000:00:08	1048	3.16
10	000:00:09	1123	3.39
11	000:00:10	1216	3.67
12	000:00:11	1316	3.97
13	000:00:12	1412	4.26
14	000:00:13	1484	4.48
15	000:00:14	1569	4.74
16	000:00:15	1663	5.02
17	000:00:16	1760	5.31
18	000:00:17	1852	5.59
19	000:00:18	1943	5.87
20	000:00:19	2025	6.11
21	000:00:20	2100	6.34
22	000:00:21	2125	6.42
23	000:00:22	2179	6.58
24	000:00:23	2203	6.65
25	000:00:24	2196	6.63
26	000:00:25	2186	6.60
27	000:00:26	2155	6.51
28	000:00:27	2174	6.56
29	000:00:28	2228	6.73
30	000:00:29	2305	6.96
31	000:00:30	2390	7.22
32	000:00:31	2456	7.41
33	000:00:32	2521	7.61
34	000:00:33	2573	7.77
35	000:00:34	2615	7.89
36	000:00:35	2663	8.04
37	000:00:36	2713	8.19
38	000:00:37	2752	8.31
39	000:00:38	2785	8.41
40	000:00:39	2819	8.51
41	000:00:40	2847	8.59
42	000:00:41	2866	8.65
43	000:00:42	2888	8.72
44	000:00:43	2906	8.77
45	000:00:44	2916	8.80
46	000:00:45	2918	8.81
47	000:00:46	2925	8.83
48	000:00:47	2926	8.83
49	000:00:48	2919	8.81
50	000:00:49	2916	8.80
51	000:00:50	2919	8.81
52	000:00:51	2917	8.81
53	000:00:52	2922	8.82
54	000:00:53	2930	8.85
55	000:00:54	2934	8.86
56	000:00:55	2935	8.86
57	000:00:56	2934	8.86
58	000:00:57	2928	8.84
59	000:00:58	2920	8.82
60	000:00:59	2917	8.81
61	000:01:00	2909	8.78
62	000:01:01	2907	8.78
63	000:01:02	2905	8.77
64	000:01:03	2863	8.64
65	000:01:03	2248	6.79

Anexo 4 Test Adobe Resistencia 0_4.

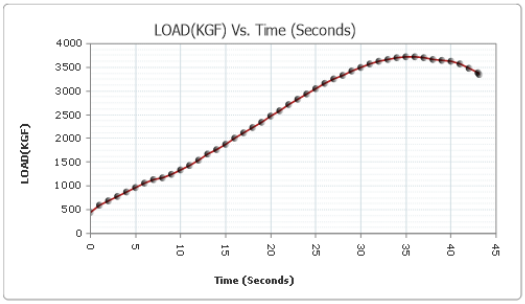
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 0_4
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3729	KGF
Cube Size	18.50	CM
Cross-Sectional Area	342.25	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	10.90	KGFCM2
Average Pace Rate	110.21	KGF
Temperature @ START	-2.1	°C
Temperature @ FINISH	4.4	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	454	1.33
2	000:00:01	592	1.73
3	000:00:02	694	2.03
4	000:00:03	786	2.30
5	000:00:04	876	2.56
6	000:00:05	964	2.82
7	000:00:06	1053	3.08
8	000:00:07	1127	3.29
9	000:00:08	1174	3.43
10	000:00:09	1244	3.63
11	000:00:10	1334	3.90
12	000:00:11	1438	4.20
13	000:00:12	1551	4.53
14	000:00:13	1666	4.87
15	000:00:14	1770	5.17
16	000:00:15	1884	5.50
17	000:00:16	2002	5.85
18	000:00:17	2120	6.19
19	000:00:18	2234	6.53
20	000:00:19	2340	6.84
21	000:00:20	2466	7.21
22	000:00:21	2590	7.57
23	000:00:22	2713	7.93
24	000:00:23	2820	8.24
25	000:00:24	2935	8.58
26	000:00:25	3049	8.91
27	000:00:26	3159	9.23
28	000:00:27	3249	9.49
29	000:00:28	3338	9.75
30	000:00:29	3423	10.00
31	000:00:30	3502	10.23
32	000:00:31	3564	10.41
33	000:00:32	3628	10.60
34	000:00:33	3673	10.73
35	000:00:34	3709	10.84
36	000:00:35	3721	10.87
37	000:00:36	3729	10.90
38	000:00:37	3704	10.82
39	000:00:38	3666	10.71
40	000:00:39	3653	10.67
41	000:00:40	3627	10.60
42	000:00:41	3575	10.45
43	000:00:42	3484	10.18
44	000:00:43	3384	9.89
45	000:00:43	3347	9.78

Anexo 5 Test Adobe Resistencia 0_5.

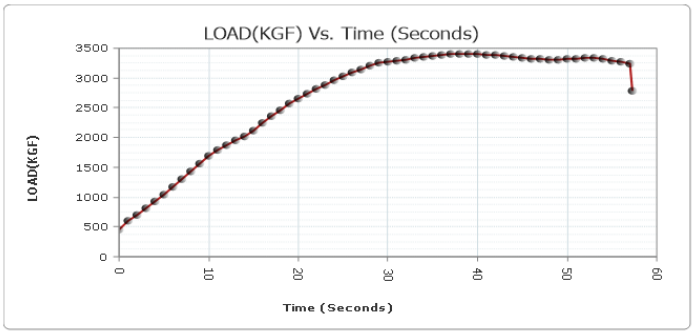
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 0_5
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3409	KGF
Cube Size	18.50	CM
Cross-Sectional Area	342.25	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.96	KGFCM2
Average Pace Rate	94.45	KGF
Temperature @ START	7.2	°C
Temperature @ FINISH	5.8	°C



R E	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	454	1.33
2	000:00:01	596	1.74
3	000:00:02	706	2.06
4	000:00:03	815	2.38
5	000:00:04	924	2.70
6	000:00:05	1042	3.04
7	000:00:06	1169	3.42
8	000:00:07	1304	3.81
9	000:00:08	1432	4.18
10	000:00:09	1570	4.59
11	000:00:10	1699	4.96
12	000:00:11	1783	5.21
13	000:00:12	1870	5.46
14	000:00:13	1953	5.71
15	000:00:14	2025	5.92
16	000:00:15	2118	6.19
17	000:00:16	2241	6.55
18	000:00:17	2356	6.88
19	000:00:18	2466	7.21
20	000:00:19	2569	7.51
21	000:00:20	2653	7.75
22	000:00:21	2738	8.00
23	000:00:22	2813	8.22
24	000:00:23	2888	8.44
25	000:00:24	2961	8.65
26	000:00:25	3031	8.86
27	000:00:26	3090	9.03
28	000:00:27	3149	9.20
29	000:00:28	3208	9.37
30	000:00:29	3248	9.49
31	000:00:30	3269	9.55
32	000:00:31	3284	9.60
33	000:00:32	3311	9.67
34	000:00:33	3330	9.73
35	000:00:34	3349	9.79
36	000:00:35	3366	9.83
37	000:00:36	3386	9.89
38	000:00:37	3400	9.93
39	000:00:38	3407	9.95
40	000:00:39	3409	9.96
41	000:00:40	3400	9.93
42	000:00:41	3394	9.92
43	000:00:42	3386	9.89
44	000:00:43	3376	9.86
45	000:00:44	3358	9.81
46	000:00:45	3336	9.75
47	000:00:46	3322	9.71
48	000:00:47	3316	9.69
49	000:00:48	3308	9.67
50	000:00:49	3311	9.67
51	000:00:50	3317	9.69
52	000:00:51	3326	9.72
53	000:00:52	3343	9.77
54	000:00:53	3330	9.73
55	000:00:54	3313	9.68
56	000:00:55	3285	9.60
57	000:00:56	3280	9.58
58	000:00:57	3237	9.46
59	000:00:57	2786	8.14

Anexo 6 Test Adobe Resistencia 5_1.

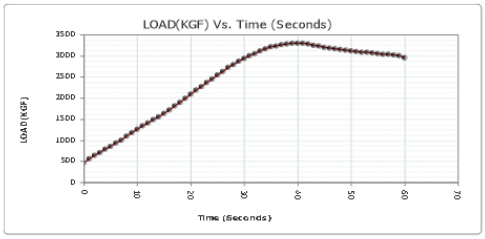
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 5_1
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3310	KGF
Cube Size	18.40	CM
Cross-Sectional Area	338.56	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.78	KGFCM2
Average Pace Rate	84.62	KGF
Temperature @ START	7.9	°C
Temperature @ FINISH	8.2	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	464	1.37
2	000:00:01	565	1.67
3	000:00:02	648	1.91
4	000:00:03	720	2.13
5	000:00:04	792	2.34
6	000:00:05	866	2.56
7	000:00:06	943	2.79
8	000:00:07	1015	3.00
9	000:00:08	1103	3.26
10	000:00:09	1191	3.52
11	000:00:10	1275	3.77
12	000:00:11	1345	3.97
13	000:00:12	1420	4.19
14	000:00:13	1491	4.40
15	000:00:14	1565	4.62
16	000:00:15	1650	4.87
17	000:00:16	1733	5.12
18	000:00:17	1820	5.38
19	000:00:18	1910	5.64
20	000:00:19	2005	5.92
21	000:00:20	2104	6.21
22	000:00:21	2193	6.48
23	000:00:22	2285	6.75
24	000:00:23	2375	7.02
25	000:00:24	2459	7.26
26	000:00:25	2548	7.53
27	000:00:26	2641	7.80
28	000:00:27	2727	8.05
29	000:00:28	2804	8.28
30	000:00:29	2880	8.51
31	000:00:30	2939	8.68
32	000:00:31	3004	8.87
33	000:00:32	3063	9.05
34	000:00:33	3126	9.23
35	000:00:34	3171	9.37
36	000:00:35	3216	9.50
37	000:00:36	3246	9.59
38	000:00:37	3274	9.67
39	000:00:38	3287	9.71
40	000:00:39	3300	9.75
41	000:00:40	3310	9.78
42	000:00:41	3303	9.76
43	000:00:42	3286	9.71
44	000:00:43	3261	9.63
45	000:00:44	3238	9.56
46	000:00:45	3211	9.48
47	000:00:46	3195	9.44
48	000:00:47	3177	9.38
49	000:00:48	3165	9.35
50	000:00:49	3148	9.30
51	000:00:50	3123	9.22
52	000:00:51	3104	9.17
53	000:00:52	3097	9.15
54	000:00:53	3090	9.13
55	000:00:54	3078	9.09
56	000:00:55	3063	9.05
57	000:00:56	3047	9.00
58	000:00:57	3040	8.98
59	000:00:58	3027	8.94
60	000:00:59	3014	8.90

ɪte Test

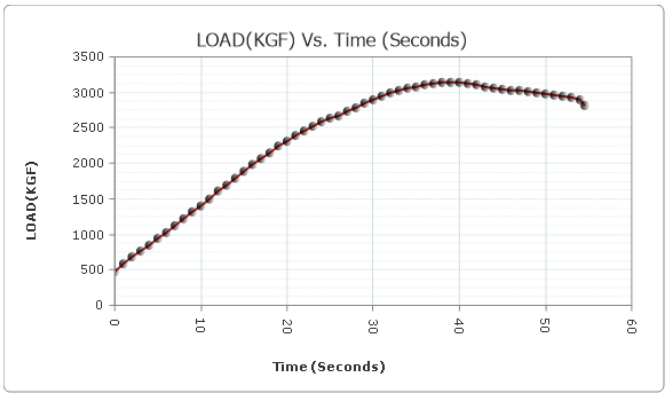
Test Type: ASTM C109/C109M

12/3/2026

Sample Identification: 5_2

Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3137	KGF
Cube Size	18.50	CM
Cross-Sectional Area	342.25	CM^2
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.17	KGFCM2
Average Pace Rate	85.50	KGF
Temperature @ START	9.1	°C
Temperature @ FINISH	9.7	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	464	1.36
2	000:00:01	586	1.71
3	000:00:02	679	1.98
4	000:00:03	764	2.23
5	000:00:04	850	2.48
6	000:00:05	938	2.74
7	000:00:06	1032	3.02
8	000:00:07	1125	3.29
9	000:00:08	1226	3.58
10	000:00:09	1315	3.84
11	000:00:10	1408	4.11
12	000:00:11	1504	4.39
13	000:00:12	1604	4.69
14	000:00:13	1701	4.97
15	000:00:14	1796	5.25
16	000:00:15	1891	5.53
17	000:00:16	1982	5.79
18	000:00:17	2075	6.06
19	000:00:18	2155	6.30
20	000:00:19	2243	6.55
21	000:00:20	2311	6.75
22	000:00:21	2387	6.97
23	000:00:22	2459	7.18
24	000:00:23	2530	7.39
25	000:00:24	2581	7.54
26	000:00:25	2634	7.70
27	000:00:26	2673	7.81
28	000:00:27	2731	7.98
29	000:00:28	2788	8.15
30	000:00:29	2844	8.31
31	000:00:30	2898	8.47
32	000:00:31	2947	8.61
33	000:00:32	2990	8.74
34	000:00:33	3032	8.86
35	000:00:34	3056	8.93
36	000:00:35	3083	9.01
37	000:00:36	3107	9.08
38	000:00:37	3120	9.12
39	000:00:38	3135	9.16
40	000:00:39	3134	9.16
41	000:00:40	3135	9.16
42	000:00:41	3125	9.13
43	000:00:42	3112	9.09
44	000:00:43	3084	9.01
45	000:00:44	3064	8.95
46	000:00:45	3048	8.91
47	000:00:46	3034	8.86
48	000:00:47	3027	8.84
49	000:00:48	3016	8.81
50	000:00:49	2988	8.73
51	000:00:50	2972	8.68
52	000:00:51	2957	8.64
53	000:00:52	2947	8.61
54	000:00:53	2926	8.55
55	000:00:54	2903	8.48
56	000:00:54	2820	8.24

Anexo 8 Test Adobe Resistencia 5_3

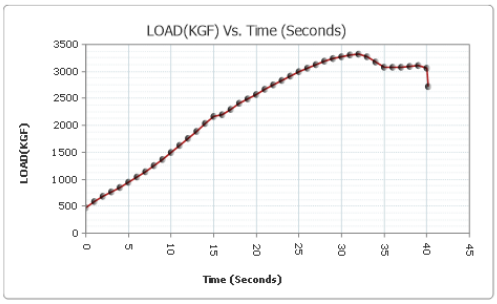
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 5_3
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3321	KGF
Cube Size	18.20	CM
Cross-Sectional Area	331.24	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	10.03	KGFCM2
Average Pace Rate	101.16	KGF
Temperature @ START	9.4	°C
Temperature @ FINISH	9.5	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	464	1.40
2	000:00:01	584	1.76
3	000:00:02	679	2.05
4	000:00:03	767	2.32
5	000:00:04	854	2.58
6	000:00:05	946	2.86
7	000:00:06	1039	3.14
8	000:00:07	1141	3.44
9	000:00:08	1252	3.78
10	000:00:09	1369	4.13
11	000:00:10	1498	4.52
12	000:00:11	1624	4.90
13	000:00:12	1753	5.29
14	000:00:13	1895	5.72
15	000:00:14	2033	6.14
16	000:00:15	2166	6.54
17	000:00:16	2205	6.66
18	000:00:17	2301	6.95
19	000:00:18	2403	7.25
20	000:00:19	2485	7.50
21	000:00:20	2574	7.77
22	000:00:21	2662	8.04
23	000:00:22	2746	8.29
24	000:00:23	2838	8.57
25	000:00:24	2919	8.81
26	000:00:25	2995	9.04
27	000:00:26	3055	9.22
28	000:00:27	3129	9.45
29	000:00:28	3188	9.62
30	000:00:29	3234	9.76
31	000:00:30	3273	9.88
32	000:00:31	3308	9.99
33	000:00:32	3321	10.03
34	000:00:33	3271	9.88
35	000:00:34	3168	9.56
36	000:00:35	3084	9.31
37	000:00:36	3073	9.28
38	000:00:37	3078	9.29
39	000:00:38	3095	9.34
40	000:00:39	3106	9.38
41	000:00:40	3060	9.24
42	000:00:40	2723	8.22

Anexo 9 Test Adobe Resistencia 5_4

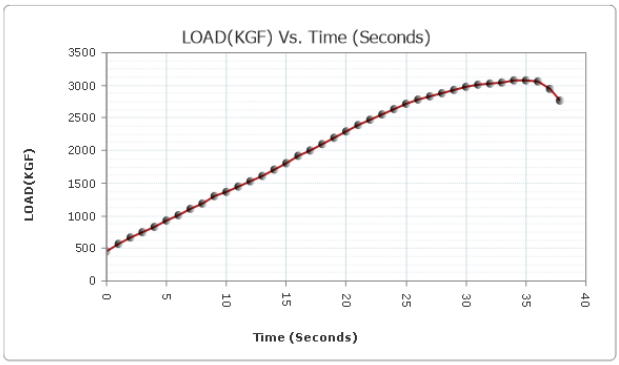
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 5_4
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3082	KGF
Cube Size	18.20	CM
Cross-Sectional Area	331.24	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.30	KGFCM2
Average Pace Rate	90.77	KGF
Temperature @ START	10.5	°C
Temperature @ FINISH	10.5	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	458	1.38
2	000:00:01	577	1.74
3	000:00:02	671	2.03
4	000:00:03	754	2.28
5	000:00:04	835	2.52
6	000:00:05	922	2.78
7	000:00:06	1006	3.04
8	000:00:07	1099	3.32
9	000:00:08	1195	3.61
10	000:00:09	1297	3.92
11	000:00:10	1375	4.15
12	000:00:11	1446	4.37
13	000:00:12	1531	4.62
14	000:00:13	1613	4.87
15	000:00:14	1708	5.16
16	000:00:15	1804	5.45
17	000:00:16	1917	5.79
18	000:00:17	2002	6.04
19	000:00:18	2097	6.33
20	000:00:19	2198	6.64
21	000:00:20	2299	6.94
22	000:00:21	2393	7.22
23	000:00:22	2477	7.48
24	000:00:23	2555	7.71
25	000:00:24	2639	7.97
26	000:00:25	2711	8.18
27	000:00:26	2784	8.40
28	000:00:27	2837	8.56
29	000:00:28	2889	8.72
30	000:00:29	2938	8.87
31	000:00:30	2974	8.98
32	000:00:31	3008	9.08
33	000:00:32	3034	9.16
34	000:00:33	3051	9.21
35	000:00:34	3077	9.29
36	000:00:35	3082	9.30
37	000:00:36	3062	9.24
38	000:00:37	2954	8.92
39	000:00:37	2769	8.36

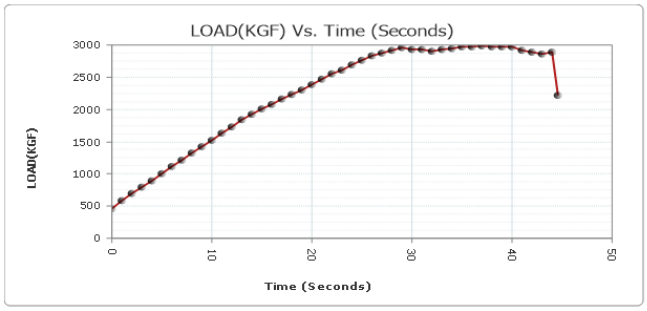
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 5_5
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	2982	KGF
Cube Size	18.35	CM
Cross-Sectional Area	336.72	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	8.86	KGFCM2
Average Pace Rate	87.11	KGF
Temperature @ START	9.9	°C
Temperature @ FINISH	10.6	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	456	1.35
2	000:00:01	592	1.76
3	000:00:02	696	2.07
4	000:00:03	795	2.36
5	000:00:04	896	2.66
6	000:00:05	1002	2.98
7	000:00:06	1110	3.30
8	000:00:07	1220	3.62
9	000:00:08	1327	3.94
10	000:00:09	1429	4.24
11	000:00:10	1524	4.53
12	000:00:11	1627	4.83
13	000:00:12	1728	5.13
14	000:00:13	1835	5.45
15	000:00:14	1928	5.73
16	000:00:15	2007	5.96
17	000:00:16	2080	6.18
18	000:00:17	2164	6.43
19	000:00:18	2228	6.62
20	000:00:19	2300	6.83
21	000:00:20	2380	7.07
22	000:00:21	2471	7.34
23	000:00:22	2548	7.57
24	000:00:23	2616	7.77
25	000:00:24	2692	7.99
26	000:00:25	2764	8.21
27	000:00:26	2826	8.39
28	000:00:27	2881	8.56
29	000:00:28	2919	8.67
30	000:00:29	2953	8.77
31	000:00:30	2933	8.71
32	000:00:31	2924	8.68
33	000:00:32	2909	8.64
34	000:00:33	2928	8.70
35	000:00:34	2950	8.76
36	000:00:35	2967	8.81
37	000:00:36	2969	8.82
38	000:00:37	2982	8.86
39	000:00:38	2969	8.82
40	000:00:39	2972	8.83
41	000:00:40	2970	8.82
42	000:00:41	2918	8.67
43	000:00:42	2885	8.57
44	000:00:43	2863	8.50
45	000:00:44	2882	8.56
46	000:00:44	2224	6.60

Anexo 11 Test Adobe Resistencia 10_1.

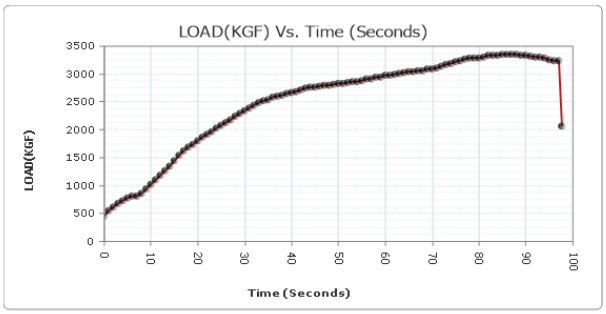
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 10_1
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3364	KGF
Cube Size	18.00	CM
Cross-Sectional Area	324.00	CM^2
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	10.38	KGFCM2
Average Pace Rate	51.44	KGF
Temperature @ START	5.1	°C
Temperature @ FINISH	6.8	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	461	1.42
2	000:00:01	553	1.71
3	000:00:02	625	1.93
4	000:00:03	682	2.10
5	000:00:04	735	2.27
6	000:00:05	787	2.43
7	000:00:06	819	2.53
8	000:00:07	819	2.53
9	000:00:08	860	2.65
10	000:00:09	937	2.89
11	000:00:10	1019	3.15
12	000:00:11	1102	3.40
13	000:00:12	1181	3.65
14	000:00:13	1267	3.91
15	000:00:14	1358	4.19
16	000:00:15	1451	4.48
17	000:00:16	1543	4.76
18	000:00:17	1620	5.00
19	000:00:18	1686	5.20
20	000:00:19	1741	5.37
21	000:00:20	1815	5.60
22	000:00:21	1868	5.77
23	000:00:22	1913	5.90
24	000:00:23	1976	6.10
25	000:00:24	2033	6.27
26	000:00:25	2082	6.43
27	000:00:26	2138	6.60
28	000:00:27	2184	6.74
29	000:00:28	2241	6.92
30	000:00:29	2297	7.09
31	000:00:30	2347	7.24
32	000:00:31	2390	7.38
33	000:00:32	2438	7.52
34	000:00:33	2490	7.69
35	000:00:34	2519	7.77
36	000:00:35	2546	7.86
37	000:00:36	2581	7.97
38	000:00:37	2604	8.04
39	000:00:38	2621	8.09
40	000:00:39	2652	8.19
41	000:00:40	2668	8.23
42	000:00:41	2687	8.29
43	000:00:42	2726	8.41
44	000:00:43	2750	8.49
45	000:00:44	2765	8.53
46	000:00:45	2768	8.54
47	000:00:46	2786	8.60
48	000:00:47	2803	8.65
49	000:00:48	2799	8.64
50	000:00:49	2817	8.69

51	000:00:50	2831	8.74
52	000:00:51	2834	8.75
53	000:00:52	2842	8.77
54	000:00:53	2862	8.83
55	000:00:54	2869	8.85
56	000:00:55	2888	8.91
57	000:00:56	2906	8.97
58	000:00:57	2920	9.01
59	000:00:58	2942	9.08
60	000:00:59	2954	9.12
61	000:01:00	2971	9.17
62	000:01:01	2979	9.19
63	000:01:02	2998	9.25
64	000:01:03	3016	9.31
65	000:01:04	3026	9.34
66	000:01:05	3044	9.40
67	000:01:06	3047	9.40
68	000:01:07	3057	9.44
69	000:01:08	3064	9.46
70	000:01:09	3086	9.52
71	000:01:10	3095	9.55
72	000:01:11	3109	9.60
73	000:01:12	3144	9.70
74	000:01:13	3170	9.78
75	000:01:14	3197	9.87
76	000:01:15	3219	9.94
77	000:01:16	3246	10.02
78	000:01:17	3268	10.09
79	000:01:18	3281	10.13
80	000:01:19	3292	10.16
81	000:01:20	3296	10.17
82	000:01:21	3312	10.22
83	000:01:22	3331	10.28
84	000:01:23	3337	10.30
85	000:01:24	3344	10.32
86	000:01:25	3356	10.36
87	000:01:26	3360	10.37
88	000:01:27	3361	10.37
89	000:01:28	3360	10.37
90	000:01:29	3345	10.32
91	000:01:30	3339	10.31
92	000:01:31	3326	10.27
93	000:01:32	3306	10.20
94	000:01:33	3304	10.20
95	000:01:34	3285	10.14
96	000:01:35	3261	10.06
97	000:01:36	3246	10.02
98	000:01:37	3232	9.98
99	000:01:37	2060	6.36

Anexo 12 Test Adobe Resistencia 10_2

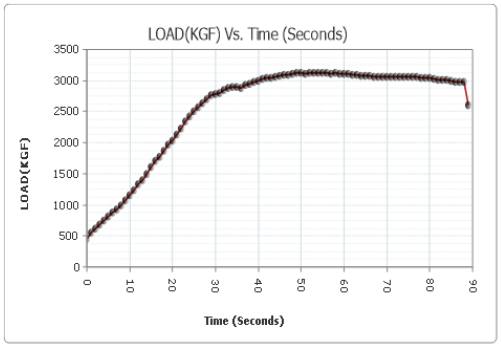
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 10_2
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3130	KGF
Cube Size	18.25	CM
Cross-Sectional Area	333.06	CM^2
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.40	KGFCM2
Average Pace Rate	84.27	KGF
Temperature @ START	10.5	°C
Temperature @ FINISH	9.1	°C



D #	TIME	(KGF)	(KGFCM2
1	000:00:00	457	1.37
2	000:00:01	554	1.66
3	000:00:02	626	1.88
4	000:00:03	688	2.07
5	000:00:04	751	2.25
6	000:00:05	813	2.44
7	000:00:06	875	2.63
8	000:00:07	931	2.80
9	000:00:08	1000	3.00
10	000:00:09	1081	3.25
11	000:00:10	1156	3.47
12	000:00:11	1240	3.72
13	000:00:12	1327	3.98
14	000:00:13	1405	4.22
15	000:00:14	1503	4.51
16	000:00:15	1613	4.84
17	000:00:16	1709	5.13
18	000:00:17	1781	5.35
19	000:00:18	1878	5.64
20	000:00:19	1962	5.89
21	000:00:20	2043	6.13
22	000:00:21	2138	6.42
23	000:00:22	2230	6.70
24	000:00:23	2341	7.03
25	000:00:24	2424	7.28
26	000:00:25	2502	7.51
27	000:00:26	2579	7.74
28	000:00:27	2636	7.91
29	000:00:28	2704	8.12
30	000:00:29	2767	8.31
31	000:00:30	2776	8.33
32	000:00:31	2806	8.42
33	000:00:32	2851	8.56
34	000:00:33	2879	8.64
35	000:00:34	2893	8.69
36	000:00:35	2891	8.68
37	000:00:36	2880	8.65
38	000:00:37	2923	8.78
39	000:00:38	2951	8.86
40	000:00:39	2983	8.96
41	000:00:40	3001	9.01
42	000:00:41	3020	9.07
43	000:00:42	3044	9.14
44	000:00:43	3052	9.16
45	000:00:44	3061	9.19
46	000:00:45	3075	9.23
47	000:00:46	3095	9.29
48	000:00:47	3097	9.30
49	000:00:48	3116	9.36
50	000:00:49	3128	9.39
51	000:00:50	3118	9.36
52	000:00:51	3116	9.36
53	000:00:52	3122	9.37
54	000:00:53	3122	9.37
55	000:00:54	3121	9.37
56	000:00:55	3121	9.37

57	000:00:56	3126	9.39
58	000:00:57	3111	9.34
59	000:00:58	3118	9.36
60	000:00:59	3110	9.34
61	000:01:00	3107	9.33
62	000:01:01	3108	9.33
63	000:01:02	3093	9.29
64	000:01:03	3087	9.27
65	000:01:04	3080	9.25
66	000:01:05	3079	9.24
67	000:01:06	3069	9.21
68	000:01:07	3066	9.21
69	000:01:08	3053	9.17
70	000:01:09	3053	9.17
71	000:01:10	3061	9.19
72	000:01:11	3057	9.18
73	000:01:12	3055	9.17
74	000:01:13	3057	9.18
75	000:01:14	3061	9.19
76	000:01:15	3056	9.18
77	000:01:16	3060	9.19
78	000:01:17	3053	9.17
79	000:01:18	3049	9.15
80	000:01:19	3045	9.14
81	000:01:20	3044	9.14
82	000:01:21	3027	9.09
83	000:01:22	3016	9.06
84	000:01:23	3010	9.04
85	000:01:24	3006	9.03
86	000:01:25	2994	8.99
87	000:01:26	2985	8.96
88	000:01:27	2982	8.95
89	000:01:28	2983	8.96
90	000:01:29	2601	7.81

Anexo 13 Test Adobe Resistencia 10_3.

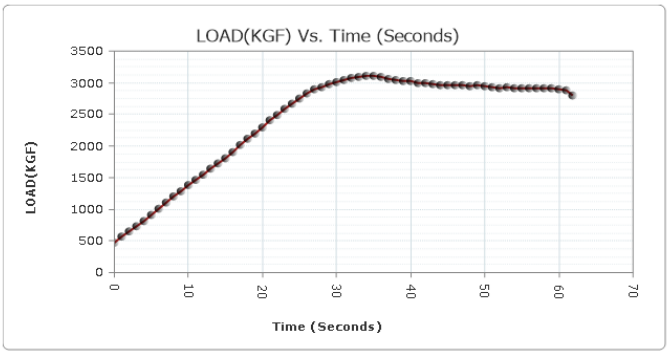
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 10_3
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3114	KGF
Cube Size	18.30	CM
Cross-Sectional Area	334.89	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.30	KGFCM2
Average Pace Rate	92.17	KGF
Temperature @ START	8.3	°C
Temperature @ FINISH	15.4	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	466	1.39
2	000:00:01	563	1.68
3	000:00:02	647	1.93
4	000:00:03	735	2.19
5	000:00:04	822	2.45
6	000:00:05	915	2.73
7	000:00:06	1016	3.03
8	000:00:07	1106	3.30
9	000:00:08	1202	3.59
10	000:00:09	1293	3.86
11	000:00:10	1385	4.14
12	000:00:11	1467	4.38
13	000:00:12	1554	4.64
14	000:00:13	1638	4.89
15	000:00:14	1732	5.17
16	000:00:15	1812	5.41
17	000:00:16	1907	5.69
18	000:00:17	2017	6.02
19	000:00:18	2110	6.30
20	000:00:19	2195	6.55
21	000:00:20	2296	6.86
22	000:00:21	2409	7.19
23	000:00:22	2497	7.46
24	000:00:23	2589	7.73
25	000:00:24	2676	7.99
26	000:00:25	2752	8.22
27	000:00:26	2826	8.44
28	000:00:27	2891	8.63
29	000:00:28	2932	8.76
30	000:00:29	2972	8.87
31	000:00:30	3013	9.00
32	000:00:31	3046	9.10
33	000:00:32	3077	9.19
34	000:00:33	3095	9.24
35	000:00:34	3110	9.29
36	000:00:35	3112	9.29
37	000:00:36	3092	9.23
38	000:00:37	3068	9.16
39	000:00:38	3047	9.10
40	000:00:39	3026	9.04
41	000:00:40	3021	9.02
42	000:00:41	3000	8.96
43	000:00:42	2990	8.93
44	000:00:43	2975	8.88
45	000:00:44	2961	8.84
46	000:00:45	2969	8.87
47	000:00:46	2959	8.84
48	000:00:47	2964	8.85
49	000:00:48	2947	8.80
50	000:00:49	2956	8.83
51	000:00:50	2953	8.82
53	000:00:52	2922	8.73
54	000:00:53	2927	8.74
55	000:00:54	2911	8.69
56	000:00:55	2914	8.70
57	000:00:56	2909	8.69
58	000:00:57	2918	8.71
59	000:00:58	2910	8.69
60	000:00:59	2914	8.70
61	000:01:00	2892	8.64
62	000:01:01	2887	8.62
63	000:01:01	2798	8.35

Anexo 14 Test Adobe Resistencia 10_4.

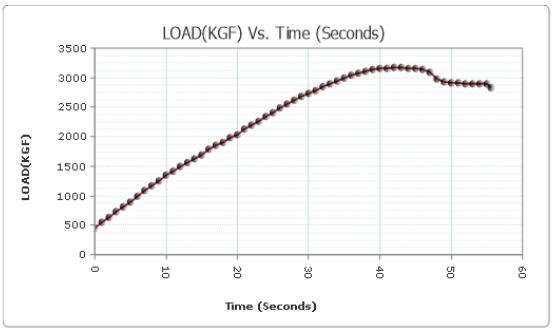
IM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 10_4
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3175	KGF
Cube Size	18.10	CM
Cross-Sectional Area	327.61	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.69	KGFCM2
Average Pace Rate	70.50	KGF
Temperature @ START	17.7	°C
Temperature @ FINISH	17.7	°C



READ #	TIME	(KGF)	(KGFCM2)
1	000:00:00	456	1.39
2	000:00:01	554	1.69
3	000:00:02	643	1.96
4	000:00:03	728	2.22
5	000:00:04	810	2.47
6	000:00:05	900	2.75
7	000:00:06	994	3.03
8	000:00:07	1088	3.32
9	000:00:08	1169	3.57
10	000:00:09	1257	3.84
11	000:00:10	1345	4.11
12	000:00:11	1423	4.34
13	000:00:12	1505	4.59
14	000:00:13	1565	4.78
15	000:00:14	1629	4.97
16	000:00:15	1700	5.19
17	000:00:16	1783	5.44
18	000:00:17	1856	5.67
19	000:00:18	1910	5.83
20	000:00:19	1992	6.08
21	000:00:20	2040	6.23
22	000:00:21	2128	6.50
23	000:00:22	2198	6.71
24	000:00:23	2259	6.90
25	000:00:24	2344	7.15
26	000:00:25	2412	7.36
27	000:00:26	2488	7.59
28	000:00:27	2552	7.79
29	000:00:28	2620	8.00
30	000:00:29	2687	8.20
31	000:00:30	2740	8.36
32	000:00:31	2789	8.51
33	000:00:32	2852	8.71
34	000:00:33	2892	8.83
35	000:00:34	2944	8.99
36	000:00:35	2989	9.12
37	000:00:36	3039	9.28
38	000:00:37	3078	9.40
39	000:00:38	3102	9.47
40	000:00:39	3139	9.58
41	000:00:40	3151	9.62
42	000:00:41	3163	9.65
43	000:00:42	3174	9.69
44	000:00:43	3167	9.67
45	000:00:44	3164	9.66
46	000:00:45	3161	9.65
47	000:00:46	3137	9.58
48	000:00:47	3093	9.44
49	000:00:48	2979	9.09
50	000:00:49	2924	8.93
51	000:00:50	2909	8.88
52	000:00:51	2910	8.88
53	000:00:52	2894	8.83
54	000:00:53	2895	8.84
55	000:00:54	2897	8.84
56	000:00:55	2897	8.84

Anexo 15 Test Adobe Resistencia 10_5.

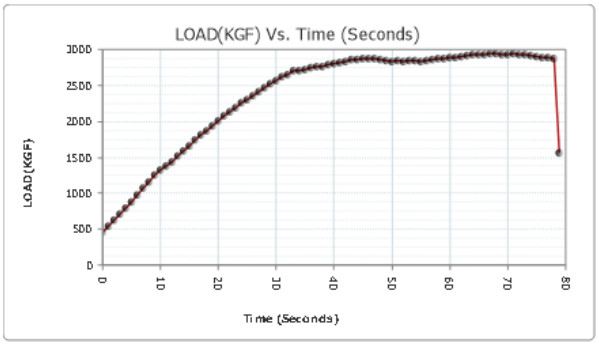
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 10_5
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	2950	KGF
Cube Size	18.10	CM
Cross-Sectional Area	327.61	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.00	KGFCM2
Average Pace Rate	66.07	KGF
Temperature @ START	15.1	°C
Temperature @ FINISH	4.3	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	456	1.39
2	000:00:01	548	1.67
3	000:00:02	632	1.93
4	000:00:03	714	2.18
5	000:00:04	798	2.44
6	000:00:05	886	2.70
7	000:00:06	979	2.99
8	000:00:07	1076	3.28
9	000:00:08	1160	3.54
10	000:00:09	1261	3.85
11	000:00:10	1332	4.07
12	000:00:11	1382	4.22
13	000:00:12	1442	4.40
14	000:00:13	1521	4.64
15	000:00:14	1591	4.86
16	000:00:15	1660	5.07
17	000:00:16	1739	5.31
18	000:00:17	1807	5.52
19	000:00:18	1872	5.71
20	000:00:19	1945	5.94
21	000:00:20	2010	6.14
22	000:00:21	2085	6.36
23	000:00:22	2137	6.52
24	000:00:23	2196	6.70
25	000:00:24	2265	6.91
26	000:00:25	2301	7.02
27	000:00:26	2362	7.21
28	000:00:27	2412	7.36
29	000:00:28	2472	7.55
30	000:00:29	2521	7.70
31	000:00:30	2572	7.85
32	000:00:31	2623	8.01
33	000:00:32	2658	8.11
34	000:00:33	2702	8.25
35	000:00:34	2712	8.28
36	000:00:35	2722	8.31
37	000:00:36	2747	8.38
38	000:00:37	2762	8.43
39	000:00:38	2764	8.44
40	000:00:39	2787	8.51
41	000:00:40	2798	8.54
42	000:00:41	2818	8.60
43	000:00:42	2830	8.64
44	000:00:43	2855	8.71
45	000:00:44	2866	8.75

46	000:00:45	2872	8.77
47	000:00:46	2877	8.78
48	000:00:47	2878	8.78
49	000:00:48	2859	8.73
50	000:00:49	2849	8.70
51	000:00:50	2839	8.67
52	000:00:51	2850	8.70
53	000:00:52	2838	8.66
54	000:00:53	2847	8.69
55	000:00:54	2846	8.69
56	000:00:55	2837	8.66
57	000:00:56	2848	8.69
58	000:00:57	2867	8.75
59	000:00:58	2874	8.77
60	000:00:59	2873	8.77
61	000:01:00	2884	8.80
62	000:01:01	2893	8.83
63	000:01:02	2903	8.86
64	000:01:03	2913	8.89
65	000:01:04	2926	8.93
66	000:01:05	2930	8.94
67	000:01:06	2933	8.95
68	000:01:07	2944	8.99
69	000:01:08	2950	9.00
70	000:01:09	2935	8.96
71	000:01:10	2932	8.95
72	000:01:11	2938	8.97
73	000:01:12	2932	8.95
74	000:01:13	2925	8.93
75	000:01:14	2915	8.90
76	000:01:15	2907	8.87
77	000:01:16	2895	8.84
78	000:01:17	2884	8.80
79	000:01:18	2876	8.78
80	000:01:18	1568	4.79

Anexo 16 Test Adobe Resistencia 15_1.

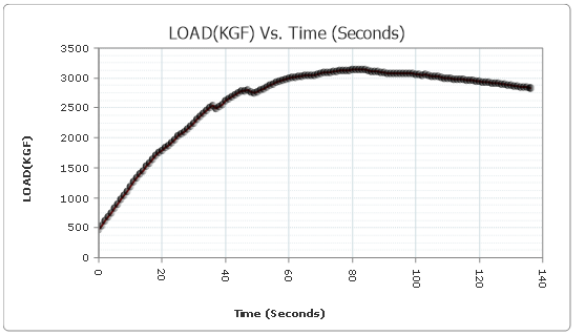
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 15_1
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3146	KGF
Cube Size	18.10	CM
Cross-Sectional Area	327.61	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.60	KGFCM2
Average Pace Rate	48.82	KGF
Temperature @ START	6.1	°C
Temperature @ FINISH	17.2	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2)
1	000:00:00	464	1.42
2	000:00:01	545	1.66
3	000:00:02	616	1.88
4	000:00:03	686	2.09
5	000:00:04	754	2.30
6	000:00:05	823	2.51
7	000:00:06	895	2.73
8	000:00:07	970	2.96
9	000:00:08	1042	3.18
10	000:00:09	1115	3.40
11	000:00:10	1192	3.64
12	000:00:11	1269	3.87
13	000:00:12	1338	4.08
14	000:00:13	1405	4.29
15	000:00:14	1446	4.41
16	000:00:15	1524	4.65
17	000:00:16	1584	4.84
18	000:00:17	1640	5.01
19	000:00:18	1703	5.20
20	000:00:19	1752	5.35
21	000:00:20	1786	5.45
22	000:00:21	1839	5.61
23	000:00:22	1870	5.71
24	000:00:23	1925	5.88
25	000:00:24	1968	6.01
26	000:00:25	2029	6.19
27	000:00:26	2068	6.31
28	000:00:27	2106	6.43
29	000:00:28	2141	6.54
30	000:00:29	2192	6.69
31	000:00:30	2248	6.86
32	000:00:31	2305	7.04
33	000:00:32	2366	7.22
34	000:00:33	2417	7.38
35	000:00:34	2458	7.50
36	000:00:35	2512	7.67
37	000:00:36	2534	7.73
38	000:00:37	2497	7.62
39	000:00:38	2518	7.69
40	000:00:39	2560	7.81
41	000:00:40	2613	7.98
42	000:00:41	2654	8.10
43	000:00:42	2694	8.22

44	000:00:43	2726	8.32
45	000:00:44	2753	8.40
46	000:00:45	2779	8.48
47	000:00:46	2788	8.51
48	000:00:47	2793	8.53
49	000:00:48	2775	8.47
50	000:00:49	2759	8.42
51	000:00:50	2765	8.44
52	000:00:51	2801	8.55
53	000:00:52	2823	8.62
54	000:00:53	2843	8.68
55	000:00:54	2878	8.78
56	000:00:55	2898	8.85
57	000:00:56	2931	8.95
58	000:00:57	2949	9.00
59	000:00:58	2969	9.06
60	000:00:59	2984	9.11
61	000:01:00	2994	9.14
62	000:01:01	3005	9.17
63	000:01:02	3009	9.18
64	000:01:03	3020	9.22
65	000:01:04	3029	9.25
66	000:01:05	3041	9.28
67	000:01:06	3052	9.32
68	000:01:07	3048	9.30
69	000:01:08	3050	9.31
70	000:01:09	3057	9.33
71	000:01:10	3074	9.38
72	000:01:11	3085	9.42
73	000:01:12	3091	9.43
74	000:01:13	3095	9.45
75	000:01:14	3103	9.47
76	000:01:15	3110	9.49
77	000:01:16	3122	9.53
78	000:01:17	3124	9.54
79	000:01:18	3133	9.56
80	000:01:19	3130	9.55
81	000:01:20	3135	9.57
82	000:01:21	3136	9.57
83	000:01:22	3138	9.58
84	000:01:23	3139	9.58
85	000:01:24	3137	9.58
86	000:01:25	3122	9.53
87	000:01:26	3116	9.51

88	000:01:27	3102	9.47
89	000:01:28	3103	9.47
90	000:01:29	3097	9.45
91	000:01:30	3090	9.43
92	000:01:31	3081	9.40
93	000:01:32	3076	9.39
94	000:01:33	3083	9.41
95	000:01:34	3075	9.39
96	000:01:35	3080	9.40
97	000:01:36	3079	9.40
98	000:01:37	3072	9.38
99	000:01:38	3073	9.38
100	000:01:39	3071	9.37
101	000:01:40	3056	9.33
102	000:01:41	3059	9.34
103	000:01:42	3052	9.32
104	000:01:43	3053	9.32
105	000:01:44	3042	9.29
106	000:01:45	3031	9.25
107	000:01:46	3030	9.25
108	000:01:47	3023	9.23
109	000:01:48	3012	9.19
110	000:01:49	2998	9.15
111	000:01:50	2997	9.15
112	000:01:51	2988	9.12
113	000:01:52	2982	9.10
114	000:01:53	2980	9.10
115	000:01:54	2977	9.09
116	000:01:55	2980	9.10
117	000:01:56	2970	9.07
118	000:01:57	2970	9.07
119	000:01:58	2966	9.05
120	000:01:59	2952	9.01
121	000:02:00	2945	8.99
122	000:02:01	2937	8.96
123	000:02:02	2938	8.97
124	000:02:03	2930	8.94
125	000:02:04	2918	8.91
126	000:02:05	2912	8.89
127	000:02:06	2907	8.87
128	000:02:07	2903	8.86
129	000:02:08	2890	8.82
130	000:02:09	2881	8.79
131	000:02:10	2879	8.79
132	000:02:11	2871	8.76
133	000:02:12	2860	8.73
134	000:02:13	2851	8.70
135	000:02:14	2845	8.68
136	000:02:15	2845	8.68
137	000:02:16	2836	8.66
138	000:02:16	2831	8.64

Anexo 17 Test Adobe Resistencia 15_2.

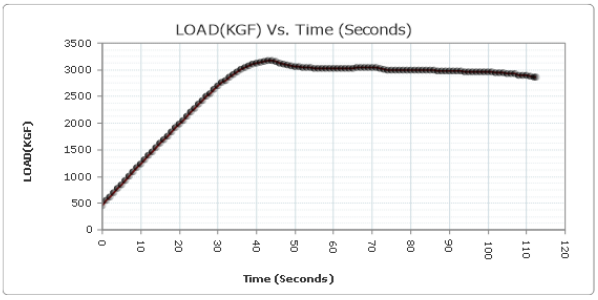
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 15_2
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3177	KGF
Cube Size	18.05	CM
Cross-Sectional Area	325.80	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.75	KGFCM2
Average Pace Rate	72.40	KGF
Temperature @ START	17.4	°C
Temperature @ FINISH	19.8	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2
1	000:00:00	462	1.42
2	000:00:01	548	1.68
3	000:00:02	624	1.92
4	000:00:03	701	2.15
5	000:00:04	776	2.38
6	000:00:05	845	2.59
7	000:00:06	926	2.84
8	000:00:07	1007	3.09
9	000:00:08	1088	3.34
10	000:00:09	1164	3.57
11	000:00:10	1245	3.82
12	000:00:11	1319	4.05
13	000:00:12	1396	4.28
14	000:00:13	1473	4.52
15	000:00:14	1554	4.77
16	000:00:15	1622	4.98
17	000:00:16	1695	5.20
18	000:00:17	1766	5.42
19	000:00:18	1847	5.67
20	000:00:19	1918	5.89
21	000:00:20	1985	6.09
22	000:00:21	2058	6.32
23	000:00:22	2134	6.55
24	000:00:23	2212	6.79
25	000:00:24	2278	6.99
26	000:00:25	2358	7.24
27	000:00:26	2428	7.45
28	000:00:27	2503	7.68
29	000:00:28	2563	7.87
30	000:00:29	2640	8.10
31	000:00:30	2707	8.31
32	000:00:31	2761	8.47
33	000:00:32	2807	8.62
34	000:00:33	2868	8.80
35	000:00:34	2913	8.94
36	000:00:35	2968	9.11
37	000:00:36	3008	9.23
38	000:00:37	3050	9.36
39	000:00:38	3081	9.46
40	000:00:39	3111	9.55
41	000:00:40	3133	9.62
42	000:00:41	3136	9.63
43	000:00:42	3155	9.68
44	000:00:43	3177	9.75
45	000:00:44	3171	9.73
46	000:00:45	3157	9.69
47	000:00:46	3129	9.60
48	000:00:47	3107	9.54
49	000:00:48	3091	9.49
50	000:00:49	3073	9.43
51	000:00:50	3061	9.40

52	000:00:51	3057	9.38
53	000:00:52	3041	9.33
54	000:00:53	3039	9.33
55	000:00:54	3044	9.34
56	000:00:55	3034	9.31
57	000:00:56	3030	9.30
58	000:00:57	3025	9.28
59	000:00:58	3023	9.28
60	000:00:59	3028	9.29
61	000:01:00	3030	9.30
62	000:01:01	3024	9.28
63	000:01:02	3021	9.27
64	000:01:03	3028	9.29
65	000:01:04	3025	9.28
66	000:01:05	3023	9.28
67	000:01:06	3037	9.32
68	000:01:07	3039	9.33
69	000:01:08	3045	9.35
70	000:01:09	3041	9.33
71	000:01:10	3040	9.33
72	000:01:11	3038	9.32
73	000:01:12	3025	9.28
74	000:01:13	3009	9.24
75	000:01:14	2996	9.20
76	000:01:15	2995	9.19
77	000:01:16	3002	9.21
78	000:01:17	3001	9.21
79	000:01:18	3000	9.21
80	000:01:19	2996	9.20
81	000:01:20	2999	9.20
82	000:01:21	3001	9.21
83	000:01:22	2996	9.20
84	000:01:23	2995	9.19
85	000:01:24	2996	9.20
86	000:01:25	2994	9.19
87	000:01:26	2988	9.17
88	000:01:27	2983	9.16
89	000:01:28	2978	9.14
90	000:01:29	2982	9.15
91	000:01:30	2980	9.15
92	000:01:31	2971	9.12
93	000:01:32	2977	9.14
94	000:01:33	2975	9.13
95	000:01:34	2968	9.11
96	000:01:35	2967	9.11
97	000:01:36	2964	9.10
98	000:01:37	2970	9.12
99	000:01:38	2958	9.08
100	000:01:39	2966	9.10
101	000:01:40	2958	9.08
102	000:01:41	2958	9.08

103	000:01:42	2951	9.06
104	000:01:43	2942	9.03
105	000:01:44	2942	9.03
106	000:01:45	2938	9.02
107	000:01:46	2923	8.97
108	000:01:47	2924	8.97
109	000:01:48	2903	8.91
110	000:01:49	2900	8.90
111	000:01:50	2890	8.87
112	000:01:51	2877	8.83
113	000:01:52	2871	8.81
114	000:01:52	2859	8.78

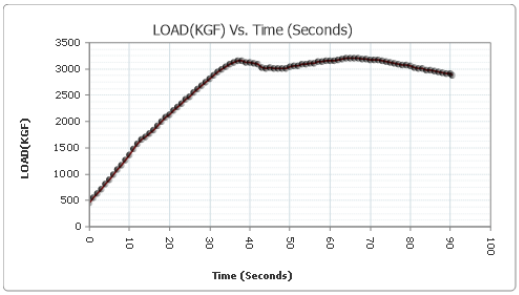
Anexo 18 Test Adobe Resistencia 15_3.

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 15_3
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3212	KGF
Cube Size	18.00	CM
Cross-Sectional Area	324.00	CM^2
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.91	KGFCM2
Average Pace Rate	69.62	KGF
Temperature @ START	20.8	°C
Temperature @ FINISH	21.1	°C



RE A	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2
1	000:00:00	455	1.40
2	000:00:01	546	1.69
3	000:00:02	631	1.95
4	000:00:03	719	2.22
5	000:00:04	808	2.49
6	000:00:05	889	2.74
7	000:00:06	985	3.04
8	000:00:07	1083	3.34
9	000:00:08	1175	3.63
10	000:00:09	1271	3.92
11	000:00:10	1371	4.23
12	000:00:11	1486	4.59
13	000:00:12	1577	4.87
14	000:00:13	1663	5.13
15	000:00:14	1716	5.30
16	000:00:15	1780	5.49
17	000:00:16	1834	5.66
18	000:00:17	1916	5.91
19	000:00:18	1995	6.16
20	000:00:19	2077	6.41
21	000:00:20	2138	6.60
22	000:00:21	2213	6.83
23	000:00:22	2286	7.06
24	000:00:23	2349	7.25
25	000:00:24	2424	7.48
26	000:00:25	2482	7.66
27	000:00:26	2551	7.87
28	000:00:27	2615	8.07
29	000:00:28	2685	8.29
30	000:00:29	2751	8.49
31	000:00:30	2815	8.69
32	000:00:31	2882	8.90
33	000:00:32	2941	9.08
34	000:00:33	2991	9.23
35	000:00:34	3044	9.40
36	000:00:35	3093	9.55
37	000:00:36	3130	9.66
38	000:00:37	3156	9.74
39	000:00:38	3151	9.73
40	000:00:39	3132	9.67
41	000:00:40	3125	9.65
42	000:00:41	3104	9.58
43	000:00:42	3085	9.52
44	000:00:43	3034	9.36
45	000:00:44	3016	9.31
46	000:00:45	3026	9.34
47	000:00:46	3015	9.31
48	000:00:47	3018	9.31
49	000:00:48	3014	9.30
50	000:00:49	3019	9.32
51	000:00:50	3048	9.41

52	000:00:51	3058	9.44
53	000:00:52	3061	9.45
54	000:00:53	3089	9.53
55	000:00:54	3101	9.57
56	000:00:55	3103	9.58
57	000:00:56	3117	9.62
58	000:00:57	3137	9.68
59	000:00:58	3141	9.69
60	000:00:59	3153	9.73
61	000:01:00	3158	9.75
62	000:01:01	3165	9.77
63	000:01:02	3174	9.80
64	000:01:03	3183	9.82
65	000:01:04	3200	9.88
66	000:01:05	3212	9.91
67	000:01:06	3207	9.90
68	000:01:07	3206	9.90
69	000:01:08	3196	9.86
70	000:01:09	3193	9.85
71	000:01:10	3180	9.81
72	000:01:11	3179	9.81
73	000:01:12	3171	9.79
74	000:01:13	3152	9.73
75	000:01:14	3142	9.70
76	000:01:15	3127	9.65
77	000:01:16	3114	9.61
78	000:01:17	3101	9.57
79	000:01:18	3077	9.50
80	000:01:19	3074	9.49
81	000:01:20	3055	9.43
82	000:01:21	3035	9.37
83	000:01:22	3008	9.28
84	000:01:23	3005	9.27
85	000:01:24	2986	9.22
86	000:01:25	2971	9.17
87	000:01:26	2959	9.13
88	000:01:27	2944	9.09
89	000:01:28	2930	9.04
90	000:01:29	2918	9.01
91	000:01:30	2908	8.98
92	000:01:30	2889	8.92

Anexo 19 Test Adobe Resistencia 15_4

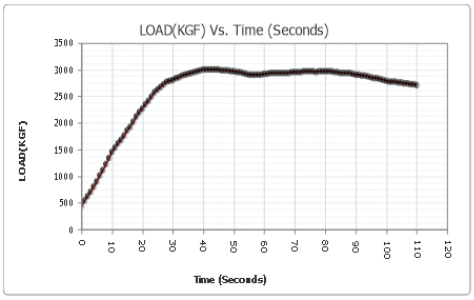
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 15_4
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3019	KGF
Cube Size	18.00	CM
Cross-Sectional Area	324.00	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.32	KGFCM2
Average Pace Rate	31.28	KGF
Temperature @ START	21.5	°C
Temperature @ FINISH	21.8	°C



READ	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2
1	000:00:00	455	1.40
2	000:00:01	549	1.69
3	000:00:02	636	1.96
4	000:00:03	723	2.23
5	000:00:04	816	2.52
6	000:00:05	915	2.82
7	000:00:06	1024	3.16
8	000:00:07	1127	3.48
9	000:00:08	1236	3.81
10	000:00:09	1345	4.15
11	000:00:10	1464	4.52
12	000:00:11	1553	4.79
13	000:00:12	1636	5.05
14	000:00:13	1701	5.25
15	000:00:14	1780	5.49
16	000:00:15	1868	5.77
17	000:00:16	1943	6.00
18	000:00:17	2042	6.30
19	000:00:18	2127	6.56
20	000:00:19	2214	6.83
21	000:00:20	2280	7.04
22	000:00:21	2358	7.28
23	000:00:22	2432	7.51
24	000:00:23	2511	7.75
25	000:00:24	2589	7.99
26	000:00:25	2644	8.16
27	000:00:26	2691	8.31
28	000:00:27	2736	8.44
29	000:00:28	2776	8.57
30	000:00:29	2795	8.63
31	000:00:30	2823	8.71
32	000:00:31	2848	8.79
33	000:00:32	2867	8.85
34	000:00:33	2897	8.94
35	000:00:34	2918	9.01
36	000:00:35	2937	9.06
37	000:00:36	2949	9.10
38	000:00:37	2966	9.15
39	000:00:38	2986	9.22
40	000:00:39	2994	9.24
41	000:00:40	3005	9.27
42	000:00:41	3009	9.29
43	000:00:42	3016	9.31
44	000:00:43	3012	9.30
45	000:00:44	3010	9.29
46	000:00:45	3019	9.32
47	000:00:46	3002	9.27
48	000:00:47	2992	9.23
49	000:00:48	2990	9.23
50	000:00:49	2977	9.19
51	000:00:50	2977	9.19

52	000:00:51	2955	9.12
53	000:00:52	2958	9.13
54	000:00:53	2941	9.08
55	000:00:54	2925	9.03
56	000:00:55	2920	9.01
57	000:00:56	2920	9.01
58	000:00:57	2917	9.00
59	000:00:58	2920	9.01
60	000:00:59	2918	9.01
61	000:01:00	2930	9.04
62	000:01:01	2937	9.06
63	000:01:02	2939	9.07
64	000:01:03	2941	9.08
65	000:01:04	2944	9.09
66	000:01:05	2940	9.07
67	000:01:06	2946	9.09
68	000:01:07	2946	9.09
69	000:01:08	2950	9.10
70	000:01:09	2957	9.13
71	000:01:10	2956	9.12
72	000:01:11	2966	9.15
73	000:01:12	2963	9.15
74	000:01:13	2973	9.18
75	000:01:14	2971	9.17
76	000:01:15	2975	9.18
77	000:01:16	2978	9.19
78	000:01:17	2970	9.17
79	000:01:18	2977	9.19
80	000:01:19	2974	9.18
81	000:01:20	2971	9.17
82	000:01:21	2976	9.19
83	000:01:22	2973	9.18
84	000:01:23	2966	9.15
85	000:01:24	2965	9.15
86	000:01:25	2952	9.11
87	000:01:26	2953	9.11
88	000:01:27	2953	9.11
89	000:01:28	2951	9.11
90	000:01:29	2937	9.06
91	000:01:30	2922	9.02
92	000:01:31	2909	8.98
93	000:01:32	2903	8.96
94	000:01:33	2893	8.93
95	000:01:34	2876	8.88
96	000:01:35	2867	8.85
97	000:01:36	2856	8.81
98	000:01:37	2847	8.79
99	000:01:38	2830	8.73
100	000:01:39	2809	8.67
101	000:01:40	2802	8.65
102	000:01:41	2790	8.61
103	000:01:42	2782	8.59
104	000:01:43	2779	8.58
105	000:01:44	2768	8.54
106	000:01:45	2761	8.52
107	000:01:46	2754	8.50
108	000:01:47	2748	8.48
109	000:01:48	2739	8.45
110	000:01:49	2729	8.42
111	000:01:50	2716	8.38

Anexo 20 Test Adobe Resistencia 15_5.

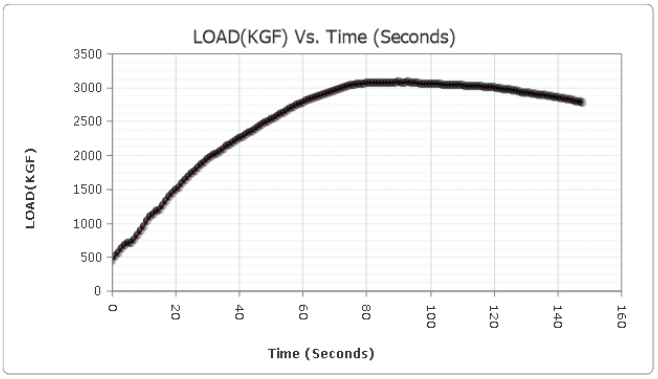
HM Data Download - Concrete Test Results

Concrete Test

Test Type: ASTM C109/C109M
12/3/2026

Sample Identification: 15_5
Machine ID: 6a33a3

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
LOAD	3088	KGF
Cube Size	18.00	CM
Cross-Sectional Area	324.00	CM²
Sample Age	0.0	day(s)
Stress	9.53	KGFCM2
Average Pace Rate	36.45	KGF
Temperature @ START	22.0	°C
Temperature @ FINISH	22.3	°C



READ #	TIME	LOAD (KGF)	STRESS (KGFCM2
1	000:00:00	459	1.42
2	000:00:01	519	1.60
3	000:00:02	575	1.77
4	000:00:03	627	1.94
5	000:00:04	676	2.09
6	000:00:05	714	2.20
7	000:00:06	718	2.22
8	000:00:07	768	2.37
9	000:00:08	833	2.57
10	000:00:09	899	2.77
11	000:00:10	968	2.99
12	000:00:11	1040	3.21
13	000:00:12	1101	3.40
14	000:00:13	1145	3.53
15	000:00:14	1188	3.67
16	000:00:15	1204	3.72
17	000:00:16	1275	3.94
18	000:00:17	1343	4.15
19	000:00:18	1403	4.33
20	000:00:19	1441	4.45
21	000:00:20	1494	4.61
22	000:00:21	1537	4.74
23	000:00:22	1594	4.92
24	000:00:23	1647	5.08
25	000:00:24	1692	5.22
26	000:00:25	1740	5.37
27	000:00:26	1781	5.50
28	000:00:27	1820	5.62
29	000:00:28	1865	5.76
30	000:00:29	1908	5.89
31	000:00:30	1951	6.02
32	000:00:31	1989	6.14
33	000:00:32	2021	6.24
34	000:00:33	2040	6.30
35	000:00:34	2075	6.40
36	000:00:35	2106	6.50
37	000:00:36	2144	6.62
38	000:00:37	2166	6.69
39	000:00:38	2196	6.78
40	000:00:39	2230	6.88
41	000:00:40	2258	6.97
42	000:00:41	2283	7.05
43	000:00:42	2313	7.14
44	000:00:43	2339	7.22
45	000:00:44	2366	7.30
46	000:00:45	2396	7.40
47	000:00:46	2422	7.48
48	000:00:47	2462	7.60
49	000:00:48	2490	7.69
50	000:00:49	2513	7.76
51	000:00:50	2537	7.83
52	000:00:51	2554	7.88
53	000:00:52	2588	7.99
54	000:00:53	2614	8.07
55	000:00:54	2641	8.15
56	000:00:55	2670	8.24
57	000:00:56	2696	8.32
58	000:00:57	2723	8.40
59	000:00:58	2746	8.48
60	000:00:59	2774	8.56

61	000:01:00	2789	8.61
62	000:01:01	2809	8.67
63	000:01:02	2831	8.74
64	000:01:03	2852	8.80
65	000:01:04	2867	8.85
66	000:01:05	2879	8.89
67	000:01:06	2904	8.96
68	000:01:07	2916	9.00
69	000:01:08	2927	9.03
70	000:01:09	2954	9.12
71	000:01:10	2968	9.16
72	000:01:11	2987	9.22
73	000:01:12	2992	9.23
74	000:01:13	3016	9.31
75	000:01:14	3022	9.33
76	000:01:15	3039	9.38
77	000:01:16	3050	9.41
78	000:01:17	3059	9.44
79	000:01:18	3058	9.44
80	000:01:19	3060	9.44
81	000:01:20	3069	9.47
82	000:01:21	3069	9.47
83	000:01:22	3079	9.50
84	000:01:23	3076	9.49
85	000:01:24	3078	9.50
86	000:01:25	3077	9.50
87	000:01:26	3075	9.49
88	000:01:27	3075	9.49
89	000:01:28	3078	9.50
90	000:01:29	3079	9.50
91	000:01:30	3087	9.53
92	000:01:31	3080	9.51
93	000:01:32	3082	9.51
94	000:01:33	3087	9.53
95	000:01:34	3076	9.49
96	000:01:35	3077	9.50
97	000:01:36	3072	9.48
98	000:01:37	3061	9.45
99	000:01:38	3068	9.47
100	000:01:39	3061	9.45
101	000:01:40	3066	9.46
102	000:01:41	3060	9.44
103	000:01:42	3054	9.43
104	000:01:43	3059	9.44
105	000:01:44	3052	9.42
106	000:01:45	3050	9.41
107	000:01:46	3047	9.40
108	000:01:47	3046	9.40
109	000:01:48	3041	9.39
110	000:01:49	3038	9.38
111	000:01:50	3038	9.38
112	000:01:51	3027	9.34
113	000:01:52	3033	9.36
114	000:01:53	3022	9.33
115	000:01:54	3023	9.33
116	000:01:55	3024	9.33
117	000:01:56	3025	9.34
118	000:01:57	3016	9.31
119	000:01:58	3017	9.31
120	000:01:59	3016	9.31

121	000:02:00	3004	9.27
122	000:02:01	3001	9.26
123	000:02:02	3000	9.26
124	000:02:03	2986	9.22
125	000:02:04	2985	9.21
126	000:02:05	2981	9.20
127	000:02:06	2964	9.15
128	000:02:07	2959	9.13
129	000:02:08	2950	9.10
130	000:02:09	2938	9.07
131	000:02:10	2930	9.04
132	000:02:11	2923	9.02
133	000:02:12	2915	9.00
134	000:02:13	2912	8.99
135	000:02:14	2902	8.96
136	000:02:15	2896	8.94
137	000:02:16	2890	8.92
138	000:02:17	2884	8.90
139	000:02:18	2879	8.89
140	000:02:19	2873	8.87
141	000:02:20	2865	8.84
142	000:02:21	2856	8.81
143	000:02:22	2842	8.77
144	000:02:23	2838	8.76
145	000:02:24	2825	8.72
146	000:02:25	2813	8.68
147	000:02:26	2801	8.65
148	000:02:27	2794	8.62
149	000:02:27	2779	8.58

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, César Humberto Verdugo Barahona portador de la cédula de ciudadanía N.º 0107167736. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Prototipo de muro de adobe para el uso en viviendas sociales en la parroquia Ricaurte” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de Octubre de 2026



F: ……..

César Humberto Verdugo Barahona

0107167736

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

César Humberto Verdugo Barahona portador de la cédula de ciudadanía Nº 0107167736. Declaro ser el autor de la obra: “Prototipo de muro de adobe para el uso en viviendas sociales en la parroquia Ricaurte”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 19 de octubre de 2026



F: ……..

César Humberto Verdugo Barahona

0107167736