

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS:**

**INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL “PAJA ICHU” EN LA RESISTENCIA  
MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**OSCAR VIRGILIO ALTAMIRANO CARRASCO**

Asesor:

**Dr. Ing. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO**

**Cajamarca – Perú**

**2019**

COPYRIGHT © 2019 by  
**OSCAR VIRGILIO ALTAMIRANO CARRASCO**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS APROBADA:**

**INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL “PAJA ICHU” EN LA RESISTENCIA  
MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

**OSCAR VIRGILIO ALTAMIRANO CARRASCO**

**JURADO EVALUADOR**

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno  
Asesor

M.Cs. José Luis Marchena Araujo  
Jurado Evaluador

M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas  
Jurado Evaluador

M.Cs. Manuel Lincol Minchán Pajares  
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2019



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

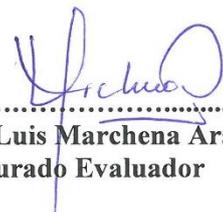
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

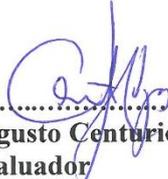
Siendo las *4:00 pm.* horas, del día 22 de agosto de dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **M.Cs. JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO, M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M.Cs. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES**, y en calidad de Asesor el **Dr. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL “PAJA ICHU” EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA”**, presentada por el **Bach. en Ingeniería Civil OSCAR VIRGILIO ALTAMIRANO CARRASCO**

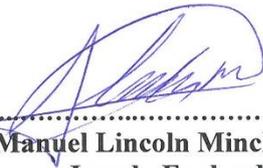
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó *ARROBATL*.....con la calificación de *DIECIOCHO (18)*.....*EXCELENTE* la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ingeniería Civil OSCAR VIRGILIO ALTAMIRANO CARRASCO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**

Siendo las *5:15p.* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno**  
Asesor

  
.....  
**M.Cs. José Luis Marchena Araujo**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares**  
Jurado Evaluador

A: Jayne Carrasco Olivera y Virgilio J. Altamirano Quispe

Mis Amados Padres

## AGRADECIMIENTOS

A la gente del campo que usa el adobe como material de construcción de sus viviendas, que la calidez de su hogar sea eterna, y que la educación de los suyos se vea reflejada en la esperanza de un mañana mejor.

A los docentes de la Escuela de Post Grado de la Sección de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, por compartir sus conocimientos, concejos y experiencias para mi mejora constante como profesional que brinda alternativas para la solución conjunta de los problemas de nuestro Perú.

A mi asesor de tesis Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su amistad, enseñanzas y apoyo continuo para el adecuado desarrollo del presente estudio.

A mi jurado: M. Cs. José Luis Marchena Araujo, M. Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares, M. Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas, M. Cs. Marco Antonio Silva Silva, por el interés, motivación, apoyo y crítica, necesarios para la realización de este trabajo.

“La riqueza de un humano se define por la cantidad y calidad de los amigos que tiene.” A Nels Cachi y familia, Johan Edquén, Antonio Regalado, Leoncio Carrasco, Miguel Hernández, Hugo Barboza, Willans Pardo, Leiner Guerrero, Germán Chaffo por su apoyo para el desarrollo satisfactorio del presente trabajo de investigación.

Si tuviera la suerte de alcanzar alguno de mis ideales, sería en nombre de toda la humanidad.

- Nikola Tesla

## **ÍNDICE GENERAL**

|  |              |
|--|--------------|
| <i>PÁGINA EN BLANCO</i> .....  | <i>i</i>     |
| <i>CARÁTULA INTERNA</i> .....  | <i>ii</i>    |
| <i>PÁGINA DE DERECHO DE AUTOR</i> .....  | <i>iii</i>   |
| <i>ACTA DE SUSTENTACIÓN</i> .....  | <i>v</i>     |
| <i>DEDICATORIA</i> .....   | <i>vi</i>    |
| <i>AGRADECIMIENTOS</i> .....   | <i>vii</i>   |
| <i>EPÍGRAFE</i> .....  | <i>viii</i>  |
| <i>ÍNDICE GENERAL</i> .....  | <i>ix</i>    |
| <i>ÍNDICE DE TABLAS</i> .....  | <i>xii</i>   |
| <i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....   | <i>xiii</i>  |
| <i>LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS</i> .....   | <i>xv</i>    |
| <i>GLOSARIO</i> .....  | <i>xvi</i>   |
| <i>RESUMEN</i> .....   | <i>xvii</i>  |
| <i>ABSTRACT</i> .....  | <i>xviii</i> |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>     |
| <b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....   | <b>1</b>     |
| 1.1.1. <i>Contextualización</i> .....  | <i>1</i>     |
| 1.1.2. <i>Descripción del problema</i> .....   | <i>4</i>     |
| 1.1.3. <i>Formulación del problema</i> .....   | <i>5</i>     |
| <b>1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                          | <b>5</b>     |
| <b>1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....   | <b>6</b>     |
| <b>1.4. LIMITACION DE LA INVESTIGACION</b> .....   | <b>7</b>     |
| <b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....  | <b>7</b>     |
| 1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....   | <i>7</i>     |
| 1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....  | <i>7</i>     |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>9</b>     |
| <b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....   | <b>9</b>     |
| 2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i> .....   | <i>9</i>     |
| 2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i> .....  | <i>12</i>    |
| 2.1.3. <i>Antecedentes locales</i> .....   | <i>14</i>    |
| <b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....   | <b>15</b>    |
| 2.2.1. <i>Normatividad de construcción con tierra en el mundo</i> .....                    | <i>15</i>    |
| 2.2.2. <i>El adobe como material de construcción</i> .....                                 | <i>17</i>    |
| 2.2.2.1. <i>Ventajas de las construcciones de adobe</i> .....                              | <i>17</i>    |
| 2.2.2.2. <i>Desventajas de las construcciones de adobe tradicional</i> .....               | <i>19</i>    |
| 2.2.2.3. <i>Uso de refuerzo horizontal y vertical en las construcciones de adobe</i> ..... | <i>20</i>    |
| 2.2.3. <i>Composición del adobe</i> .....  | <i>22</i>    |
| 2.2.3.1. <i>El suelo</i> .....   | <i>22</i>    |
| 2.2.3.2. <i>Agua</i> .....   | <i>23</i>    |
| 2.2.3.3. <i>Paja ichu</i> .....  | <i>24</i>    |
| 2.2.4. <i>Geometría del adobe</i> .....  | <i>28</i>    |
| 2.2.5. <i>Principios de resistencia de materiales</i> .....                                | <i>28</i>    |
| 2.2.5.1. <i>Compresión</i> .....   | <i>28</i>    |
| 2.2.5.2. <i>Tracción</i> .....   | <i>28</i>    |
| 2.2.5.3. <i>Flexión pura</i> .....   | <i>29</i>    |
| 2.2.6. <i>Ensayos mecánicos</i> .....  | <i>30</i>    |
| 2.2.6.1. <i>Resistencia del material tierra a la compresión</i> .....                      | <i>30</i>    |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.6.2. Resistencia del murete a la compresión.....  | 31 |
| 2.2.6.3. Resistencia del material tierra a la tracción .....  | 31 |
| 2.2.6.4. Resistencia del mortero a la tracción.....   | 32 |
| 2.2.6.5. Resistencia del adobe a la flexión.....  | 32 |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....   | 33 |
| CAPÍTULO III:    PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES.....   | 36 |
| 3.1. HIPÓTESIS.....   | 36 |
| 3.2. VARIABLES / CATEGORÍAS .....   | 36 |
| 3.2.1. Variable Independiente: Porcentaje de paja ichu. ....  | 36 |
| 3.2.2. Variable Dependiente: Resistencia mecánica del adobe .....   | 36 |
| 3.3. OPERACIONALIZACIÓN / CATEGORIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA<br>HIPOTESIS .....  | 37 |
| CAPÍTULO IV:    MARCO METODOLÓGICO.....   | 38 |
| 4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....   | 38 |
| 4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....  | 39 |
| 4.1.1. Tipo: Aplicada .....   | 39 |
| 4.1.2. Nivel: Relacional .....  | 39 |
| 4.1.3. Diseño: Experimental .....   | 39 |
| 4.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....   | 42 |
| 4.4. POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN.....  | 42 |
| 4.4.1. Población.....   | 42 |
| 4.4.2. Muestra .....  | 42 |
| 4.4.3. Unidad de análisis: Espécimen de adobe por cada tipo de resistencia mecánica.....  | 43 |
| 4.4.4. Unidad de observación: Espécimen de adobe por cada tipo de resistencia mecánica. ..<br>.....   | 43 |
| 4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....  | 43 |
| 4.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....   | 43 |
| 4.7. EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS .....   | 44 |
| 4.7.1. Equipo.....  | 44 |
| 4.7.2. Materiales .....   | 44 |
| 4.7.3. Insumos .....  | 44 |
| 4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA.....   | 45 |
| CAPÍTULO V:    RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 46 |
| 5.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....  | 46 |
| 5.1.1. Determinación de la resistencia a la compresión del adobe sin paja (A) y los adobes<br>con paja (B, C, D).....                         | 46 |
| 5.1.2. Determinación de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la<br>tracción con paja (B, C, D).....              | 47 |
| 5.1.3. Determinación de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a<br>flexión del adobe con paja (B, C, D).....    | 49 |
| 5.1.4. Determinación de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a<br>la tracción con paja (B, C, D).....          | 50 |
| 5.1.5. Determinación de la resistencia del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de<br>los muretes de adobe con paja (B, C, D). .... | 52 |
| 5.1.6. Trabajabilidad de la mezcla del adobe sin paja (A) y de la mezcla del adobe con paja<br>(B, C, D).....                                 | 53 |
| 5.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....  | 55 |
| 5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de los resultados de las resistencias del adobe. .  | 55 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2.1.1. <i>Análisis estadístico en Minitab de los resultados de las resistencias a la compresión del adobe.</i> .....  | 55  |
| 5.2.1.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia a la compresión de adobe sin paja (A) y la del adobe con paja (B, C, D).</i> .....                       | 60  |
| 5.2.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de los resultados la resistencia del adobe a la tracción.</i> .....  | 61  |
| 5.2.2.1. <i>Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del adobe a la tracción.</i> .....  | 61  |
| 5.2.2.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D).</i> .....             | 66  |
| 5.2.3. <i>Análisis, interpretación y discusión de los resultados resistencia a flexión del adobe. ..</i><br>.....   | 68  |
| 5.2.3.1. <i>Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia a flexión del adobe.</i> .....  | 68  |
| 5.2.3.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D).</i> .....   | 72  |
| 5.2.4. <i>Análisis, interpretación y discusión de los resultados resistencia del mortero a la tracción.</i> .....   | 74  |
| 5.2.4.1. <i>Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del mortero a la tracción.</i> .....  | 74  |
| 5.2.4.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D).</i> .....         | 79  |
| 5.2.5. <i>Análisis, interpretación y discusión de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe.</i> .....   | 81  |
| 5.2.5.1. <i>Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe.</i> .....  | 81  |
| 5.2.5.2. <i>Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).</i> ..... | 85  |
| 5.3. <i>CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS</i> .....  | 88  |
| <i>CONCLUSIONES</i> .....   | 89  |
| <i>RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS</i> .....  | 90  |
| <i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....   | 91  |
| <i>APÉNDICES</i> .....  | 95  |
| <i>ANEXOS:</i> .....  | 148 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1: Prueba de Duncan de la Resistencia a la compresión del Adobe (Kg/cm<sup>2</sup>).....</i>  | <i>12</i> |
| <i>Tabla 2: Resumen de parámetros mecánicos propuestos para el adobe y mortero de Huaca de la Luna .....</i>   | <i>13</i> |
| <i>Tabla 3: Normas y reglamentos seleccionados y contenido.....</i>  | <i>15</i> |
| <i>Tabla 4: Caracterización física del stipa ichu .....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Tabla 5: Comportamiento del aislante termoacústico a base de solo Stipa Ichu, frente al agente externo fuego.....</i>                                   | <i>27</i> |
| <i>Tabla 6: Resistencia a la flexión de Stipa Ichu .....</i>   | <i>27</i> |
| <i>Tabla 7: Operacionalización / categorización de los componentes de la hipótesis .....</i>   | <i>37</i> |
| <i>Tabla 8: Tipos de investigación según distintos criterios .....</i>   | <i>42</i> |
| <i>Tabla 9: Ensayos mecánicos para hallar la resistencia mecánica del adobe .....</i>  | <i>43</i> |
| <i>Tabla 10: Matriz de consistencia metodológica.....</i>  | <i>45</i> |
| <i>Tabla 11: Resumen de la resistencia a la compresión del adobe sin paja (A) y del adobe con paja (B, C y D) .....</i>                                    | <i>46</i> |
| <i>Tabla 12: Resumen de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D).....</i>                          | <i>47</i> |
| <i>Tabla 13: Resumen de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D). .....</i>              | <i>49</i> |
| <i>Tabla 14: Resumen de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D). .....</i>                    | <i>50</i> |
| <i>Tabla 15: Resumen de las resistencias del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).....</i>            | <i>52</i> |
| <i>Tabla 16: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión del adobe.....</i>              | <i>59</i> |
| <i>Tabla 17: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia mecánica del adobe a la tracción.....</i>    | <i>65</i> |
| <i>Tabla 18: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión del adobe. ....</i>                | <i>71</i> |
| <i>Tabla 19: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia del mortero a la tracción.....</i>           | <i>78</i> |
| <i>Tabla 20: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia del murete a la compresión de adobe.....</i> | <i>84</i> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Mapa mundial de las construcciones con tierra. ....   | 1  |
| Figura 2: Materiales de construcción de fachadas del centro histórico - Casas de Adobe en el Jr. Belén de Cajamarca. ....   | 2  |
| Figura 3: Material predominante en las viviendas en Perú - Año 2016. ....   | 3  |
| Figura 4: Elaboración del adobe tradicional en el distrito de Cajamarca. ....   | 4  |
| Figura 5: Fibra de vidrio necesaria para el caso 3. ....  | 10 |
| Figura 6: Ubicación de las varillas de fibra de vidrio en el adobe. ....  | 10 |
| Figura 7: Enrazado de adobe reforzado con varillas de fibra de vidrio. ....   | 11 |
| Figura 8: Preparación de la mezcla de adobe con incorporación de fibras. ....   | 11 |
| Figura 9: Ensayo de compresión serie B, muestra 3. ....   | 11 |
| Figura 10: Ensayo de flexión serie B, muestra 4. ....   | 11 |
| Figura 11: Componentes adicionales encontrados en los adobes de la Huaca de la Luna. ....   | 13 |
| Figura 12: Número de normas vigentes entre paréntesis por país, año 1979-2010. ....   | 15 |
| Figura 13: Ventajas de las construcciones de adobe. ....  | 19 |
| Figura 14: Deficiencias Sísmicas de Albañilería de Adobe. ....  | 20 |
| Figura 15: Construcción de muros con refuerzo vertical y horizontal de Caña. ....   | 21 |
| Figura 16: Cimiento de Concreto Ciclópeo para construcciones de adobe reforzadas. ....  | 21 |
| Figura 17: Contrafuertes para construcciones de adobe reforzadas. ....  | 21 |
| Figura 18: Tamaños del suelo (Grava, Arena; limo, Arcilla). ....  | 22 |
| Figura 19: SEM micrografía para: a) y b) del vástago de fibra Ichu y c) y d) Ichu licencia fibra. ....  | 26 |
| Figura 20: Carga a velocidad constante con el equipo de resistencia a la flexión. ....  | 27 |
| Figura 21: Viga sometida a tracción. ....   | 29 |
| Figura 22: Viga sometida a flexión. ....  | 30 |
| Figura 23: Ensayo de Compresión a la unidad. ....   | 30 |
| Figura 24: Ensayo de compresión en Muretes. ....  | 31 |
| Figura 25: Ensayo de tracción indirecta. ....   | 32 |
| Figura 26: Ensayo de resistencia del mortero a la tracción. ....  | 32 |
| Figura 27: Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre. ....   | 33 |
| Figura 28: Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se desarrollará la investigación. ....  | 38 |
| Figura 29: Ubicación geográfica de la cantera ex adobera Cruz Blanca donde se elaborarán los especímenes de adobe. ....   | 39 |
| Figura 30: Secuencia del proceso de investigación. ....   | 40 |
| Figura 31: Secuencia de la elaboración de especímenes de adobe. ....  | 41 |
| Figura 32: % de Paja ichu Vs. esfuerzo a la compresión de la unidad de adobe. ....  | 46 |
| Figura 33: Comparación de los $f_0$ del adobe sin paja (A) con los $f_0$ de los adobes con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017. ....  | 47 |
| Figura 34: % de Paja Ichu Vs. esfuerzo a la tracción de adobe. ....   | 48 |
| Figura 35: Comparación del esfuerzo a la tracción de adobe sin paja (A) con los esfuerzos a la tracción de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017. ....                          | 48 |
| Figura 36: % de Paja Ichu VS Esfuerzo a la flexión del adobe. ....  | 49 |
| Figura 37: Comparación de resistencia a la flexión del adobe sin paja (A) con resistencia a la flexión de adobe con paja (B, C y D). ....   | 50 |
| Figura 38: % de Paja Ichu Vs Esfuerzo del mortero a la tracción. ....   | 51 |
| Figura 39: Comparación de resistencia del mortero a la tracción del adobe sin paja (A) con resistencia del mortero a la tracción de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017. .... | 51 |
| Figura 40: % de Paja Ichu Vs Esfuerzo a compresión del murete del adobe. ....   | 52 |
| Figura 41: Comparación de los $f'_m$ del murete de adobe sin paja (A) con los $f'_m$ de los muretes de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017. ....                              | 53 |
| Figura 42: Mezcla del adobe sin paja (A). ....  | 53 |
| Figura 43: Mezcla del adobe con paja (B). ....  | 54 |
| Figura 44: Mezcla del adobe con paja (C). ....  | 54 |
| Figura 45: Mezcla del adobe con paja (D). ....  | 54 |
| Figura 46: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión del adobe. ....  | 56 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 47: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión del adobe.</i>                 | 57 |
| <i>Figura 48: Diferencias de las medias para resistencia a compresión del adobe.</i>  | 59 |
| <i>Figura 49: Cubo de adobe tipo A, durante el ensayo a compresión.</i>   | 60 |
| <i>Figura 50: Cubo de adobe tipo B, durante el ensayo a compresión.</i>   | 60 |
| <i>Figura 51: Cubo de adobe tipo C, durante el ensayo a compresión.</i>   | 60 |
| <i>Figura 52: Cubo de adobe tipo D, durante el ensayo a compresión.</i>   | 60 |
| <i>Figura 53: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del adobe a la tracción.</i>                | 62 |
| <i>Figura 54: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del adobe a la tracción.</i> | 63 |
| <i>Figura 55: Diferencias de las medias para la resistencia mecánica del adobe a la tracción.</i>   | 65 |
| <i>Figura 56: Ensayo a la tracción del adobe (tipo A).</i>  | 66 |
| <i>Figura 57: Ensayo a la tracción del adobe (tipo B).</i>  | 66 |
| <i>Figura 58: Ensayo a la tracción del adobe (tipo C).</i>  | 66 |
| <i>Figura 59: Ensayo a la tracción del adobe (tipo D).</i>  | 66 |
| <i>Figura 60: Estado del espécimen de adobe tipo A, después del ensayo a tracción.</i>  | 67 |
| <i>Figura 61: Estado del espécimen de adobe tipo B, C y D después del ensayo a tracción.</i>  | 67 |
| <i>Figura 62: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia a flexión del adobe.</i>                    | 68 |
| <i>Figura 63: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados de la resistencia a flexión del adobe.</i>                | 69 |
| <i>Figura 64: Diferencias de las medias para la resistencia a flexión del adobe.</i>  | 72 |
| <i>Figura 65: Ensayo del adobe a la flexión (tipo A).</i>   | 73 |
| <i>Figura 66: Ensayo del adobe a la flexión (tipo B).</i>   | 73 |
| <i>Figura 67: Ensayo del adobe a la flexión (tipo C).</i>   | 73 |
| <i>Figura 68: Ensayo del adobe a la flexión (tipo D).</i>   | 73 |
| <i>Figura 69: Estado del espécimen después del ensayo a la flexión (tipo B y C).</i>  | 73 |
| <i>Figura 70: Estado del espécimen después del ensayo a la flexión (tipo D).</i>  | 73 |
| <i>Figura 71: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del mortero a la tracción.</i>              | 75 |
| <i>Figura 72: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados resistencia del mortero a la tracción.</i>                | 76 |
| <i>Figura 73: Diferencias de las medias para la resistencia del mortero a la tracción.</i>  | 78 |
| <i>Figura 74: Ensayo del mortero a la tracción (tipo A).</i>  | 79 |
| <i>Figura 75: Ensayo del mortero a la tracción (tipo B).</i>  | 79 |
| <i>Figura 76: Ensayo del mortero a la tracción (tipo C).</i>  | 79 |
| <i>Figura 77: Ensayo del mortero a la tracción (tipo D).</i>  | 79 |
| <i>Figura 78: Estado del espécimen después del ensayo del mortero a la tracción (tipo A).</i>   | 80 |
| <i>Figura 79: Estado del espécimen después del ensayo del mortero a la tracción (tipo B).</i>   | 80 |
| <i>Figura 80: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del murete a la compresión de adobe.</i>    | 81 |
| <i>Figura 81: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a compresión del murete del adobe.</i>         | 82 |
| <i>Figura 82: Diferencias de las medias para la resistencia del murete a la compresión de adobe.</i>                                      | 85 |
| <i>Figura 83: Murete de adobe tipo A, durante del ensayo a compresión.</i>  | 86 |
| <i>Figura 84: Murete de adobe tipo B, durante del ensayo a compresión.</i>  | 86 |
| <i>Figura 85: Murete de adobe tipo C, durante del ensayo a compresión.</i>  | 86 |
| <i>Figura 86: Murete de adobe tipo D, durante del ensayo a compresión.</i>  | 86 |

**LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS**

|         |   |  |
|---------|---|--|
| INEI    | : | Instituto Nacional de Estadística e Informática  |
| INEN    | : | Instituto Ecuatoriano de Normalización   |
| MVCS    | : | Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento   |
| NTE     | : | Norma Técnica de Edificación.  |
| RNE     | : | Reglamento Nacional de Edificaciones   |
| SENCICO | : | Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación<br>para la Industria de la Construcción |

## GLOSARIO

- Adobe.** Bloque tradicional de construcción, conformado por tierra, agua, o paja secado al sol.
- Compresión.** Proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen.
- Deformación.** Cambio que sufre un cuerpo o cosa tras haberle aplicado una serie de fuerzas externas, como tensión o compresión, que producen la variación de su tamaño o forma natural
- Flexión.** Deformación que experimenta un elemento estructural alargado en dirección perpendicular a su eje longitudinal.
- Incidencia.** Influencia de determinada cosa en un asunto o efecto que causa en él.
- Resistencia.** Capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros.
- Tracción.** Esfuerzo al que se somete un objeto cuando hay dos fuerzas que resultan opuestas y tienden, a partir de su aplicación, a alargarlo o estirarlo.

## RESUMEN

La Norma E.080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, del año 2017 del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú, recomienda el uso de paja o arena gruesa en la fabricación de adobes para mejorar su resistencia y durabilidad, discerniendo esto, el objetivo principal de la investigación fue determinar la incidencia de la adición de fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca. Los especímenes de adobe se fabricaron siguiendo los lineamientos de la Norma E.080, a excepción de los de la resistencia mecánica a flexión donde se adaptó la Norma Técnica Ecuatoriana 2554. Los materiales usados para la elaboración de estos fueron: Suelo clasificado como areno limoso (SM, clasificación SUCS) proveniente de la cantera adobera Cruz Blanca, paja ichu propia del distrito y agua potable que abastece a la ciudad cajamarquina. Estos se clasificaron en especímenes de adobe tipo “A” (0 % de paja), tipo “B” (0.40 % de paja), tipo “C” (0.80 % de paja) y tipo “D” (1.20 % de paja), el porcentaje de paja fue tomado con respecto al peso seco del suelo. Los adobes fueron ensayados después del proceso de secado bajo sombra para protección contra el viento y la lluvia, a los 28 días (unidad) y 56 días (mortero y muretes) para obtener la resistencia mecánica, entendiendo como resistencia mecánica, la resistencia a compresión, tracción y flexión de la unidad; resistencia del mortero a la tracción, además, se construyó muretes para determinar la resistencia del murete a la compresión. Obtenidos los resultados se concluyó que la incidencia de la adición de la fibra vegetal paja ichu en el adobe es positiva puesto que aumenta la resistencia mecánica del adobe y murete en más del 5 %; tanto a compresión de la unidad (5 %), tracción de la unidad (13 %), flexión de la unidad (25 %), tracción del mortero (30 %) y compresión de muretes (21 %); resultados tomados de los especímenes de adobe tipo C donde la mezcla (suelo más paja más agua) tuvo una buena trabajabilidad.

**PALABRAS CLAVES:** Adobe, resistencia mecánica, compresión, tracción, flexión, paja ichu.

## **ABSTRACT**

The E.080 Standard, Design and Construction with Reinforced soil, of the “Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú” 2017, which recommends the use of straw or coarse sand in the adobes’ manufacturing to improve its strength and durability, discerning this, the investigation’s main objective was to determine the effect of the addition of the ichu straw vegetable fiber on the adobe’s mechanical resistance in Cajamarca district. The adobe specimens were manufactured following the guidelines of the E.080 Standard, except for the mechanical resistance to bending, where the Ecuadorian Technical Standard 2554 was adapted. The materials used for the elaboration of these were: Soil classified as sand slime (SM, SUCS classification) from the Cruz Blanca adobe quarry, typical ichu straws of the district and drinking water that supplies Cajamarca city. These were classified into specimens of adobe type "A" (0% straw), type "B" (0.40% straw), type "C" (0.80% straw) and type "D" (1.20% straw), the percentage of straw was taken regarding the soil’s dry weight. The adobes were tested after the drying process under shade to protect them against wind and rain, at 28 days (unit) and 56 days (mortar and low walls) to obtain the mechanical resistance, understanding mechanical resistance as the compression resistance, traction and bending of the unit; the tensile resistance of the mortar, in addition to this, walls were constructed to determine the resistance of the wall’s compression. After having obtained the results, it was concluded that the effect of the addition of the ichu straw vegetable fiber on the adobe is positive since it increases the mechanical resistance of the adobe and low wall by more than 5%; as well as unit compression (5%), unit traction (13%), unit flexion (25%), mortar traction (30%) and wall compression (21%); these results taken from the specimens of adobe type C where the mixture (soil and straw plus water) had good workability.

**KEY WORDS:** Adobe, mechanical strength, compression, traction, bending, ichu straw.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. Contextualización

En casi todos los climas cálidos, secos y templados, la tierra ha sido desde siempre el material de construcción predominante, Minke (2001). Alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra, aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de tierra (Houben y Guillard, 1994).

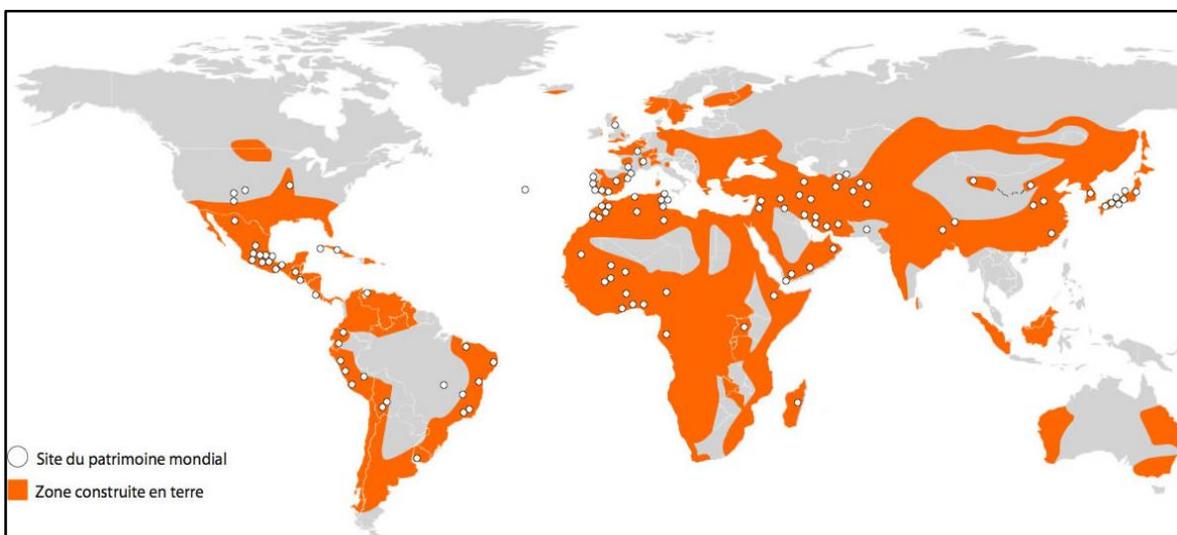


Figura 1: Mapa mundial de las construcciones con tierra.

Fuente: Construcción con Tierra (Meta, 2018).

Existen construcciones grandiosas, tales como la mezquita de Djeneé empezada en el siglo duodécimo, o la impresionante gran Mezquita de Mopti, en Mali, así como las hermosas construcciones del pueblo Dogon; las famosas casas torres de Yemen que pueden tener hasta 8 plantas de altura, muchas de ellas construidas hace 400 años. En México y Sudamérica existieron construcciones de adobe en casi todas las culturas precolombinas; edificios ingleses del siglo XVI, o alemanes del siglo XVIII; fincas de tapial en Brasil o Colombia; iglesias en EEUU o los milenarios almacenes del templo de Ramsés II, en Egipto. La historia registra ciudades enteras edificadas con tierra, algunas de las cuales pueden verse hoy en África (AMAZÚ, 2017).

En el Perú está Caral, la ciudad más antigua de América (2627 a.C.), ubicada a unos 200 kilómetros al norte de Lima, se encuentran alrededor de 300 sitios de interés arqueológico,

donde destaca la ciudadela de Pachacamac, en ella se encuentra El Templo Viejo, cuya construcción fue iniciada alrededor del 200 a.C. siendo esta una magnífica construcción de adobe. En la costa norte del Perú, se hallan edificaciones antiguas de adobe, las cuales datan del 850 d.C., este es el caso de la ciudadela de Chan - Chan, ubicada a 4 kilómetros de Trujillo. Esta ciudadela de barro considerada la más grande del mundo tiene 36 kilómetros cuadrados de área, hecha con muros de adobe y tapial.

En el distrito de Cajamarca la paja ichu es usada para controlar las fisuras y agrietamientos que se presentan en el adobe y en el mortero cuando se da el proceso de secado. La ciudad de Cajamarca no es ajena a esta realidad, puesto que existen construcciones de adobe muy antiguas, casonas que han sido remodeladas, estas en su mayoría se encuentran en el centro histórico.



Figura 2: Materiales de construcción de fachadas del centro histórico - Casas de Adobe en el Jr. Belén de Cajamarca.

Fuente: Análisis Centro Histórico Cajamarca - Perú (Chávez y Dulanto, 2017).

Al igual que en la antigüedad en la última década el adobe sigue siendo un material importante de la construcción, prueba de ello, el Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI (2016), indica que para el año 2016 el 33.3 % de las construcciones a nivel nacional son hechas con adobe o tapial, es decir un tercio de la población usa este material para la construcción de sus viviendas. En los Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda realizado por el INEI en el año 2007, se encuentra que en el distrito de Cajamarca el adobe o tapia representa el 41.7 % del total de viviendas (Fondo MIVIVIENDA S.A., 2009).



Figura 3: Material predominante en las viviendas en Perú - Año 2016

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares (INEI, 2016).

No ha sido posible resolver los inmensos requerimientos de hábitat en los países en vías de desarrollo con materiales industrializados como ladrillo, hormigón y acero, ni con técnicas de producción industrializadas. No existen en el mundo las capacidades productivas y financieras para satisfacer esta demanda. Las necesidades de hábitat en los países en vías de desarrollo solo se pueden encarar utilizando materiales de construcción locales y técnicas de autoconstrucción (Minke, 2001).

Uno de los materiales más antiguos usados en la construcción de viviendas es la paja. Se puede construir y cerrar locales habitables con fardos de paja de hasta dos pisos, abarcando distintos programas arquitectónicos como viviendas unifamiliares, apareadas, en tira, garajes, galpones de campo, jardines de infantes, escuelas, hospitales, o construcciones públicas (Minke y Mahlke, 2006).

A nivel mundial y nacional se ha realizado incorporaciones de estabilizantes a la tierra con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas del adobe, las más comunes son: paja, cal, asfalto, cemento. Sin embargo, en la antigüedad se ha demostrado como en algunas edificaciones ubicadas en la zona costera que la tierra era usada sin ninguna adición como lo demuestra el ingeniero Montesinos (2016) en sus tesis “Caracterización mecánica de componentes estructurales en construcciones arqueológicas de tierra: El caso de Huaca de La Luna”.

### 1.1.2. Descripción del problema

La Norma E.080 del año 2006 hace referencia al adobe simple y al adobe estabilizado, es por ello que la mayoría de investigaciones desarrolladas hasta la fecha han sido enfocadas en la estabilización de la tierra usando estabilizadores como, cal (Altamirano, 2018), asfalto (López y Bernilla, 2016) o cemento (Cachi, 2016). Este precepto también brinda la gradación del suelo para la elaboración de adobe, esta debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos (MVCS, 2006).

La Norma E.080 del año 2017 para mejorar la resistencia y durabilidad del adobe recomienda la adición de paja, en ausencia de esta se debe utilizar arena gruesa. Estas adiciones controlan el agrietamiento durante el proceso de secado MVCS (2017). Esta noción de mejora de la resistencia es indefinida, imprecisa, no cuantitativa.

En el proceso de elaboración de adobe realizado por la población no se toma en cuenta los porcentajes de gradación de la tierra indicados en la norma, la construcción de viviendas de adobe se debe a la disponibilidad del terreno y a la cercanía del emplazamiento final de la edificación, usando la misma tierra de excavación de la explanación sin adiciones que le generen un costo superior (caso de la incorporación de arena gruesa). Por ende, la característica de un adobe tradicional podría tener una resistencia menor al de las indicadas en las normas vigentes.



Figura 4: Elaboración del adobe tradicional en el distrito de Cajamarca.

En el distrito de Cajamarca lo usual es fabricar adobes con adiciones de paja, sin embargo, según lo especificado en la Norma E. 080 del año 2017 y según la Real Academia Española es posible obviar la adición de paja, por lo que los constructores bajo esta especificación podrían fabricar adobes sin esta adición, sin saber cuál sería su efecto en la resistencia mecánica de la unidad y del murete.

A la paja se la considera comúnmente como parte esencial del adobe. Esto no es cierto y los adobes contemporáneos no la usan. Su uso se creyó importante para dar rigidez al adobe, o evitar rajaduras al secarse. Lo cierto es que, si la proporción de arcilla y arena es la correcta, no se la necesita. Si el adobe se raja al secarse es porque tiene mucha arcilla (Vélez , 2010).

En la Norma E. 080 del año 2017 nos especifica el ítem 5.1.b. que las resistencias que se deben calcular en el adobe para determinar si la tierra usada es adecuada son resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia del mortero a la tracción sin embargo, para el diseño de las estructuras no solo es necesario la resistencia de la unidad sino también la resistencia del murete a la compresión.

Es por ello que es necesario determinar cuál sería la incidencia de incorporar paja ichu en diferentes proporciones en comparación a un adobe sin paja, en las propiedades mecánicas del adobe, las cuales son resistencia a la compresión, tracción, flexión (unidad), del mortero a la tracción y compresión del murete; dándole así la importancia al rol que desempeña la paja ichu en la resistencia del adobe convencional.

### **1.1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es la incidencia de la fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La Norma E.080 del MVCS (2006), la Norma E.080 del MVCS (2017) y diversa literatura existente en el uso del adobe como material de construcción y en la elaboración del mismo coinciden en que se añade paja durante el proceso de batido del barro para la elaboración del adobe para evitar fisuras y agrietamientos durante el proceso de secado. La Norma E.080 del MVCS (2017) señala de manera indefinida que se incorpora paja al barro (tierra más agua) para aumentar su resistencia y durabilidad. No se tiene una perspectiva cuantitativa del efecto

de la paja en la resistencia, la presente investigación permitirá encontrar la incidencia de la adición de la paja ichu en la resistencia mecánica del adobe (compresión, tracción, flexión).

### 1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en el distrito de Cajamarca, desde febrero del 2018 a febrero del 2019, los ensayos de los especímenes se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Para la elaboración de los especímenes de adobe se usaron materiales representativos del distrito cajamarquino, es así que éstos tuvieron las siguientes características:

- **Suelo:** El suelo usado procede de la cantera adobera Cruz Blanca, Av. Independencia N° 1860, caserío Chinchimarca. La tierra de esta cantera cumple con la gradación para elaboración de adobe dada en la Norma E.080 del año 2006.
- **Agua:** Agua potable de la ciudad de Cajamarca.
- **Paja ichu:** Proveniente del centro poblado Porcón Alto.

Se realizó los siguientes ensayos para el desarrollo de la investigación siguiendo las pautas de la Norma E.080 del MVCS (2017):

- Ensayos de la unidad de adobe:
  - Resistencia del adobe a la compresión.
  - Resistencia a tracción del adobe.
  - Resistencia a flexión del adobe (INEN, 2011).
- También se realizaron ensayos del mortero a la tracción ya que en el ítem 5.1.b. de la Norma E.080 contempla este tipo de resistencia para adobe.
  - Resistencia del mortero a la tracción.
- Sin embargo, en esta tesis se creyó por conveniente también determinar la resistencia del murete, ya que este parámetro ( $f'm$ ) se usa en el diseño de las viviendas de adobe.
  - Resistencia del murete a la compresión.

La normativa peruana de diseño y construcción con tierra no contempla el ensayo de flexión de la unidad de adobe, siendo éste un material frágil, para determinar la resistencia a flexión se ha adaptado un espécimen simple apoyado libremente en los extremos, la carga fue aplicada en los tercios de la luz libre hasta que ocurrió la rotura de éste, para ello se adaptó el ensayo

dado en la Norma Técnica Ecuatoriana 2554 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2011).

- Resistencia del adobe (unidad) a la flexión.

El porcentaje de paja ichu para la elaboración de los adobes fue de 0 % (línea base), 0.40 %, 0.80 % y 1.20 % con respecto al peso seco de la tierra. El estudio no se desvió en otros temas, como los de absorción ni a temas de durabilidad.

#### **1.4. LIMITACION DE LA INVESTIGACION**

Las limitaciones que se encontraron fueron:

- No se ha realizado ensayos para medir la resistencia del murete a la tracción indirecta (ensayo de compresión diagonal).
- Solo se trabajó con una cantera, los resultados obtenidos son válidos para esta cantera y para las canteras de adobe del distrito que tengan similares características de gradación del suelo.

#### **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia a compresión del adobe en el distrito de Cajamarca.
- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia del adobe a la tracción en el distrito Cajamarca.
- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia a flexión del adobe en el distrito de Cajamarca.

- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia del mortero a la tracción en el distrito Cajamarca.
- Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia del murete de adobe a la compresión en el distrito de Cajamarca.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

*Hernández. (2016). “Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto Centro de rehabilitación en Palenque Chiapas” (Opción de titulación curricular para obtener el título de: Ingeniero Arquitecto, Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco-México).*

Investigación que desarrolló pruebas de un bloque de adobe con fibra de platanal para comprobar que el bloque es apto para la construcción, se demostró como los productores de platanal tiene un gran recurso desperdiciado en vías de ser un nuevo material para la construcción.

Hernández (2016) llegó a estas conclusiones:

- La fibra de platanal si es compatible con el adobe y no presenta rechazo alguno.
- No hubo un amplio margen de aumento en la capacidad a la compresión, pero puntualizando que fueron los primeros prototipos con materiales limitados deja el antecedente de que la fibra si mejora las capacidades mecánicas del adobe para futuras investigaciones, por lo tanto, con mayor cantidad de pruebas y mayor número de recursos este rubro puede alcanzar resultados satisfactorios.
- Los costos de producción si fueron menores con base en entrevistas y diseño de métodos para cuantificar el precio, el rubro debería de ser cubierto al 100% buscando un lugar idóneo como por ejemplo la comunidad elegida para el proyecto arquitectónico y llevarlo totalmente a la práctica, así el proceso sería verificado desde la recolección de la fibra hasta la construcción de un muro.

*Chuya y Ayala. (2018). “Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con adobe reforzado con fibra de vidrio”. (Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Arquitecto, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca).*

Investigación que determinó el comportamiento del adobe reforzado con fibra de vidrio, el cual presentó los respectivos métodos de ensayos (ensayos a compresión y flexión en

unidades de adobe, ensayos de muretes a compresión y compresión diagonal), cuyo objetivo fue analizar y comparar el comportamiento de la fibra de vidrio como refuerzo en el adobe frente al adobe tradicional.

Chuya y Ayala concluyeron:

- En compresión: Las muestras ensayadas incrementaron su valor hasta 1,25 veces, con un incremento del 25% con respecto al adobe tradicional. Siendo el caso 5 el que presenta la
- En flexión: Las muestras ensayadas incrementaron su valor hasta 5,14 veces, con un incremento del 514% con respecto al adobe tradicional. Siendo el caso 1 el que presentó mejor ensayo a flexión, con un porcentaje de fibra de vidrio de 3.40% del volumen total de adobe.
- En muretes a compresión: Las muestras ensayadas incrementaron su valor hasta 1,30 veces, con un incremento del 30% con respecto al adobe tradicional. Siendo el caso 5 el que muestra los mejores resultados.
- El adobe reforzado con fibra de vidrio como material de construcción es aceptable, de modo que la fibra de vidrio resulta viable en la mejora de las propiedades del adobe tradicional.



Figura 5: Fibra de vidrio necesaria para el caso 3.  
Fuente: Chuya y Ayala (2018).



Figura 6: Ubicación de las varillas de fibra de vidrio en el adobe.  
Fuente: Chuya y Ayala (2018).



Figura 7: Enrazado de adobe reforzado con varillas de fibra de vidrio.  
Fuente: Chuya y Ayala (2018).

Prado y Gonzalez. (2012). “Incidencia de la adición de fibras poliméricas para morteros sobre la resistencia a flexión y compresión de estucos de barro”. (Revista de la Construcción).

La investigación se basó en el estudio sobre el uso de fibras poliméricas como refuerzo a estucos de mortero de adobe. Para ello se desarrollaron en laboratorio una muestra cero y muestras con adiciones de fibras, en diferentes dosificaciones, las cuales fueron testeadas en la prensa de ensayo (según norma oficial chilena Nch158: Ensayos de Flexión y Compresión de Morteros, aplicados a briquetas RILEM), a modo de obtener sus parámetros característicos de flexión y compresión.

Se logró establecer que la estabilidad de un elemento no estructural (como el estuco de barro) sometido a flexión y compresión se hace sustancialmente más efectiva con la incorporación de fibras poliméricas logrando incrementos en su resistencia de hasta un 30%. Adicionalmente se pudo demostrar que los tiempos de rotura del elemento reforzado con fibra pueden llegar a ser 7 veces mayores que la muestra pura.



Figura 8: Preparación de la mezcla de adobe con incorporación de fibras.  
Fuente: Prado, y González (2012).



Figura 9: Ensayo de compresión serie B, muestra 3.  
Fuente: Prado, y González (2012).

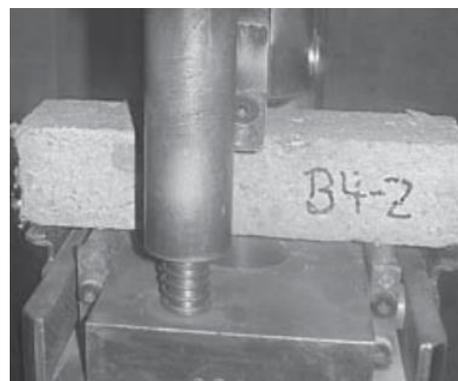


Figura 10: Ensayo de flexión serie B, muestra 4.  
Fuente: Prado, y González (2012).

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

*Manrique. (2016). Evaluación de niveles de cáscara de arroz y su influencia sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de adobe. Zungaro Cocha, 2016 (Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos-Perú, 2016).*

La pregunta de investigación fue la siguiente ¿algunos de los diferentes niveles de cascara de arroz influyen sobre la resistencia a la compresión, en la fabricación de adobe? En base al problema se estableció en esta investigación la proporción de los niveles de cáscara de arroz y barro a emplear, realizamos pruebas de resistencia a la compresión y se realizó el Análisis de Varianza.

Se procedió a recolectar la cáscara de arroz y barro, se hizo el picado del barro para tener un material más fino, una vez realizado la mezcla se depositó en los moldes. Se realizó el secado de los adobes bajo sombra durante 35 días.

La diferencia promedio entre el peso inicial y el peso final fue de 1.61 Kg donde el decremento de adobe en T2 y TI se da de manera homogénea en promedio, menor que en los tratamientos T4 y T3 que ocupan los primeros lugares con mayor decremento.

Tabla 1: Prueba de Duncan de la Resistencia a la compresión del Adobe ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

| O.M. | TRATAMIENTOS |             | Promedio | Significancia |
|------|--------------|-------------|----------|---------------|
|      | CLAVE        | DESCRIPCIÓN |          |               |
| 1    | T4           | 40%         | 80.58    | A             |
| 2    | T3           | 30%         | 31.24    | B             |
| 3    | T2           | 20%         | 28.79    | C             |
| 4    | TI           | 10%         | 27.84    | D             |

Fuente: Manrique (2016)

*Montesinos. (2016). Caracterización mecánica de componentes estructurales en construcciones arqueológicas de tierra: El caso de Huaca de La Luna. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú).*

El principal objetivo de esta tesis es conocer el comportamiento mecánico del material de Huaca, de modo que se tengan datos que puedan ser utilizados para su evaluación estructural. Para esto se realizaron ensayos de compresión uniaxial, flexión en tres puntos y compresión diametral en especímenes elaborados a partir del adobe y mortero original de Huaca.

Además, se realizaron ensayos de compresión uniaxial y corte cíclico en la mampostería construida a partir de materiales originales de esta estructura.

Los estudios realizados encontraron parámetros mecánicos del material que conforma el sistema estructural de Huaca de La Luna, como era de esperarse el comportamiento mecánico del adobe y mortero fue diferente al de la mampostería. El modelamiento numérico demostró que es una herramienta poderosa para poder realizar la caracterización mecánica con base en ensayos básicos de laboratorio. Los datos encontrados y la metodología propuesta pueden ser utilizados como base para analizar el comportamiento mecánico de materiales que son parte de sistemas estructurales de construcciones de tierra.

Tabla 2: Resumen de parámetros mecánicos propuestos para el adobe y mortero de Huaca de la Luna

|         | $\rho$<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | $\sigma_c$<br>(MPa) | $\square$<br>(mm/m) | E<br>(MPa) | ft<br>(MPa) | Gc<br>(N/mm) | Gt<br>(N/mm) |
|---------|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| Adobe   | 1750                           | 1.16                | 3.16                | 750        | 0.20        | 0.137        | 0.023        |
| Mortero | 1990                           | 2.33                | 3.42                | 2100       | 0.31        | 0.517        | 0.029        |

$\rho$ : densidad del material;  $\sigma_c$ : resistencia a la compresión;  $\square$ : deformación unitaria correspondiente a la resistencia a compresión; E: módulo de elasticidad; ft: resistencia a tracción; Gc: energía de fractura a compresión, Gt: energía de fractura a tracción.

Fuente: Montesinos (2016).

Los especímenes de adobe fueron elaborados con el material original de Huaca de la Luna, no encontrándose ni usando paja para la elaboración de los mismos. Para la obtención de especímenes de adobe para la caracterización mecánica a compresión Montesinos (2016) afirmó que durante el proceso de elaboración se pudo observar en los adobes la presencia de componentes aislados como presencia de conchas marinas, partes de cerámicos y piedras, además de oquedades en su masa. De manera similar en cuanto a los especímenes de mortero, estos fueron elaborados con el material original de Huaca, para esto se mezcló terrones desmenuzados del mortero con agua para poder obtener una pasta trabajable.



Figura 11: Componentes adicionales encontrados en los adobes de la Huaca de la Luna

Fuente: Montesinos (2016).

### 2.1.3. Antecedentes locales

*Mantilla. (2018). "Variación de las propiedades físico mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho". (Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca).*

Investigación que tuvo como objetivo determinar la variación de las propiedades físico-mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho, por lo que se ha adicionado fibra vegetal (viruta) y fibra de caucho en porcentajes de 2%, 3% y 5 %, elaborándose un total de 245 bloques de adobe, los cuales fueron evaluados en resistencia a compresión, flexión y en su comportamiento a la absorción y saturación total. Se obtuvo como resultados que la resistencia a compresión alcanzó un valor máximo de 30.25 kg/cm<sup>2</sup> para los bloques de adobe con 3% de adición de viruta, en resistencia a flexión se registró un valor máximo de 8.35 kg/cm<sup>2</sup>; valores superiores a los resultados de resistencia obtenidos por el adobe tradicional (con paja). El porcentaje de absorción disminuyó hasta en 4% con la incorporación de 5% de caucho, observándose además menor desgaste de las unidades de adobe con adición de caucho en la saturación total. Concluyendo que las propiedades físico-mecánicas del adobe resultan favorables, con la incorporación de viruta y caucho.

*Briones y Estrada. (2018). Compresión axial del adobe compactado con fibras de paja ichu, paja de arroz y paja de trigo. (Tesis Profesional para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte, Cajamarca).*

Esta tesis tuvo como objetivo calcular la resistencia a compresión del adobe compactado con adición de fibras de paja ichu, paja de arroz y paja de trigo. Los resultados obtenidos de resistencia a compresión del adobe patrón es 21.03 kg/cm<sup>2</sup> y al adicionarle paja de arroz en porcentajes del 5%, 10% y 15% se alcanzó una resistencia de 24.25 kg/cm<sup>2</sup>, 21.09 kg/cm<sup>2</sup> y 17.65 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente; del mismo modo al adicionarle paja de trigo en porcentajes del 5%, 10% y 15% se alcanzó una resistencia de 25.29 g/cm<sup>2</sup>, 23.29 kg/cm<sup>2</sup> y 21.49 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente; y finalmente al adicionar paja ichu en porcentajes del 5%, 10% y 15% se alcanzó una resistencia de 30.92 kg/cm<sup>2</sup>, 28.07 kg/cm<sup>2</sup> y 24.77 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, de los resultados obtenidos todas las adiciones superan los valores requeridos por la Norma E.080 - 2017 de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>. Concluyendo que la muestra con mejores resultados son las probetas con incorporación de ichu.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. Normatividad de construcción con tierra en el mundo

La tierra ha sido utilizada como material de construcción desde hace siglos. No obstante, la normativa al respecto está muy dispersa, y en la mayoría de países desarrollados surgen numerosos problemas técnicos y legales para llevar a cabo una construcción con este material (Cid, Mazarrón, y Cañas, 2011).

El panorama normativo para las construcciones con tierra cruda a nivel internacional, donde se analizan cincuenta y cinco normas y reglamentos de países repartidos por los cinco continentes, que representan el estado del arte de la normalización de la tierra cruda como material de construcción. (Cid et al., 2011).

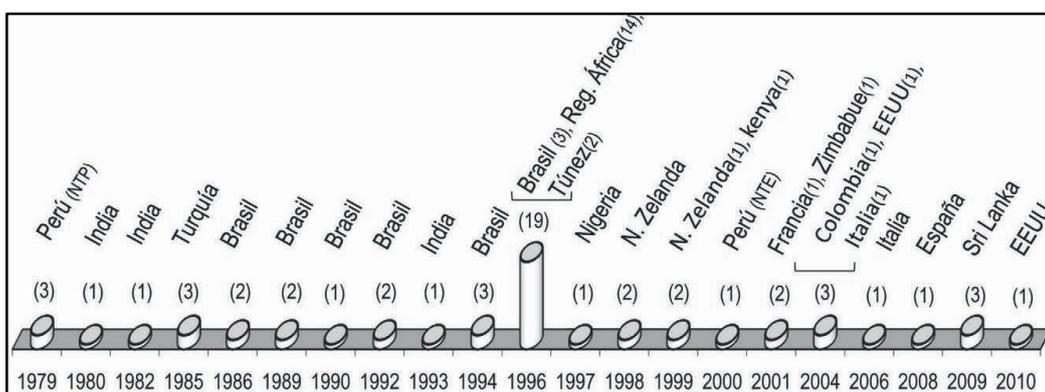


Figura 12: Número de normas vigentes entre paréntesis por país, año 1979-2010.  
Fuente: Las normativas de construcción con tierra en el mundo (Cid et al., 2011).

Tabla 3: Normas y reglamentos seleccionados y contenido

| País/Grupo      | Norma/Reglamento | REF. | EST. | Técnica  | Campo de aplicación   | Selección suelos  | Requisitos productos | Ensayos | Fabricación | Construcción | Diseño |  |
|-----------------|------------------|------|------|--|---|---|----------------------|---------|-------------|--------------|--------|--|
| Brasil 1        | NBR 8491, 1986.  | 7    | X    | Bloque   | Condiciones exigibles para recibir los bloques  | X   | X                    |         |             |              |        |  |
|                 | NBR 8492, 1986.  | 8    |      | comprimido   | Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua para bloques                        |   |                      | X       |             |              |        |  |
|                 | NBR 10832, 1989  | 9    |      | macizo   | Procedimiento de fabricación con prensa manual/hidráulica                                   | X   |                      |         | X           |              |        |  |
|                 | NBR 10833, 1989  | 10   |      | Bloque comprimido macizo y perforado                 |   | X   |                      |         | X           |              |        |  |
|                 | NBR 10834, 1994. | 11   |      | Bloque comprimido perforado sin función estructural. | Condiciones de recepción  | Forma y dimensiones de los bloques                      | X                    | X       |             |              |        |  |
|                 | NBR 10835, 1994  | 12   |      |  |   | Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua |                      | X       |             |              |        |  |
|                 | NBR 10836, 1994  | 13   |      |  |   |   |                      |         | X           |              |        |  |
|                 | NBR 12023, 1992  | 14   |      | Bloques suelo- cemento                               | Procedimientos de ensayos   |   |                      |         | X           |              |        |  |
|                 | NBR 12024, 1992  | 15   |      |  |   |   |                      |         | X           |              |        |  |
|                 | NBR 12025, 1990  | 16   |      |  |   |   |                      |         | X           |              |        |  |
| NBR 13554, 1996 | 17               |      |      |  |   |   | X                    |         |             |              |        |  |
| NBR 13555, 1996 | 18               |      |      |  |   |   | X                    |         |             |              |        |  |
|                 | NBR 13553, 1996  | 19   |      | Pared monolítica sin función estructural             | Condiciones exigibles para los materiales para paredes monolíticas sin función estructural. | X   | X                    |         |             |              |        |  |

|                              |                    |    |   |  |  |   |   |   |   |   |   |
|------------------------------|--------------------|----|---|--|--|---|---|---|---|---|---|
| <b>Colombia</b><br>2         | NTC 5324,2004      | 20 | X | Bloques macizos de suelo- cemento para muros y divisiones. | Caracterización y métodos de ensayo de los bloques macizos suelo- cemento.   | X   | X | X |   |   |   |
| <b>EEUU</b><br>3             | NMAC. 14.7.4, 2004 | 21 |   | Adobe, Bloques de tierra comprimida y tapial               | Reglamento de construcción   | X   | X | X |   | X |   |
| 4                            | ASTM E2392 M-10    | 22 |   | Adobe, tapial  | Guía para construcción de sistemas con tierra  | X   |   | X | X | X |   |
| <b>España</b><br>5           | UNE 41410:2008     | 23 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo   | X   | X | X |   |   |   |
| <b>Francia</b><br>6          | XP P13-901,2001    | 24 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Terminología, dimensiones y métodos de ensayo  | X   | X | X |   |   |   |
| <b>India</b><br>7            | IS 2110:1980       | 25 | X | Pared in-situ de suelo-cemento                             | Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3,2 m de altura y anchura >300mm muros de carga o >200mm particiones. | X   | X |   |   | X |   |
|                              | IS 1725:1982.      | 26 | X | Bloques de tierra comprimidos estabilizados.               | Requisitos y pruebas para bloques de tierra de uso en construcción en general. Procedimientos de ensayos.                  | X   | X | X |   |   |   |
|                              | IS 13827 : 1993    | 27 |   | Adobe y tapial   | Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra  |   | X |   |   | X |   |
| <b>Kenia</b><br>8            | KS 02-1070:1,1999. | 30 | X | Bloques de suelo estabilizados con cemento o cal           | Requisitos para la construcción con este bloque  | X   | X | X |   |   |   |
| <b>Nueva Zelanda</b><br>9    | NZS 4297,1998.     | 32 |   | Adobe, bloque comprimido, tierra vertida, tapial           | Diseño estructural y de durabilidad de las edificaciones de tierra   |   |   |   |   | X | X |
|                              | NZS 4298, 1998.    | 33 |   |  | Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayos    | X   | X | X | X | X |   |
|                              | NZS 4299,1999.     | 34 |   |  | Adobe, bloque comprimido, tapial   | Requisitos de diseño y construcción para adobe, bloques comprimido o tapial que no necesitan diseño específico. |   |   |   |   | X |
| <b>Perú</b><br>10            | NTE E 0.80, 2000   | 35 |   | Adobe  | Requisitos para la construcción de adobe simple y adobe estabilizado   | X   | X | X | X | X | X |
| 11                           | NTP. 331.201, 1979 | 36 | X | Adobe estabilizado con asfalto                             | Definiciones, condiciones generales y requisitos   |   | X | X | X |   |   |
|                              | NTP 331.202, 1979. | 37 |   |  | Procedimientos de ensayo   | X   |   |   |   |   |   |
|                              | NTP 331.203, 1979. | 38 |   |  | Muestreo y recepción.  |   | X |   |   |   |   |
| <b>Regional África</b><br>12 | ARS 670,1996       | 39 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Terminología BTC.  | X   |   |   |   |   |   |
|                              | ARS 671,1996       | 40 |   |  | Clasificar los BTC   |   |   |   |   |   |   |
|                              | ARS 672,1996       | 41 |   |  | Clasificación de morteros de tierra.   |   |   |   |   |   |   |
|                              | ARS 673, 1996      | 42 |   |  | Definir formas de albañilería  |   |   |   |   |   |   |
|                              | ARS 674, 1996      | 43 |   |  | Requisitos de BTC ordinarios   | X   | X |   |   |   |   |
|                              | ARS 675,1996       | 44 |   |  | Requisitos aplicables a BTC vistos   | X   | X |   |   |   |   |
|                              | ARS 676,1996       | 45 |   |  | Requisitos de morteros ordinarios  |   | X |   |   |   |   |
|                              | ARS 677,1996       | 46 |   |  | Requisitos de morteros vistos  |   | X | X |   |   |   |
|                              | ARS 678, 1996      | 47 |   |  | Requisitos para albañilería revestida  |   |   |   |   | X | X |
|                              | ARS 679, 1996      | 48 |   |  | Requisitos para albañilería vista  |   |   |   |   | X | X |
|                              | ARS 680, 1996      | 49 |   |  | Estado del arte fabricación BTC  | X   |   |   | X |   |   |
|                              | ARS 681,1996       | 50 |   |  | Estado del arte para morteros tierra.  | X   |   |   | X |   |   |
|                              | ARS 682,1996       | 51 |   |  | Estado del arte para construcción  |   |   |   |   |   | X |
|                              | ARS 683,1996       | 52 |   |  | Pruebas requeridas   | X   | X |   |   |   |   |
| <b>Sri Lanka</b><br>13       | SLS 1382-1:2009    | 53 | X | Bloques de tierra comprimida                               | Requerimientos   | X   | X |   |   |   |   |
|                              | SLS 1382-2:2009    | 54 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Métodos de ensayo  |   |   | X |   |   |   |
|                              | SLS 1382-3:2009    | 55 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Guía sobre producción, diseño y construcción   |   |   |   | X | X | X |
| <b>Túnez</b><br>14           | NT 21.33:1996      | 56 |   | Bloques de tierra comprimida                               | Especificaciones para BTC ordinarios, características geométricas, fisicoquímicas...                                       |   | X | X |   |   |   |
|                              | NT 21.35:1996      | 57 |   |  | Definición y clasificación de BTC  |   | X |   |   |   |   |
| <b>Zimbabue</b><br>15        | SAZS 724, 2001.    | 61 |   | Tapial   | Guías para el diseño, construcción y ensayos para estructuras de tapial.   | X   | X | X |   | X | X |

Fuente: Las normativas de construcción con tierra en el mundo (Cid et al., 2011).

La Norma E.080 del MVCS (2006) procede de una versión anterior de 1977 del ININVI (Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda) que fue absorbido por

el organismo público SENCICO (Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción) (Cid et al., 2011).

La Norma E.080 del MVCS (2006) llamada Adobe hace hincapié en el uso del adobe estabilizado usando adiciones de cal, cemento y asfalto a los materiales del adobe tradicional (tierra, paja y agua) para aumentar su resistencia mecánica a compresión, en el año del 2017 ésta adopta el nombre de Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, Norma E.080 del MVCS (2017), esta hace más énfasis al uso de refuerzos verticales y horizontales en muros, dejando de lado al adobe estabilizado.

### **2.2.2. El adobe como material de construcción**

Se define el adobe como un bloque macizo de suelo sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos, Norma E.080 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2006).

La Norma E.080 del MVCS (2017) define al adobe como la unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

El adobe como unidad es la masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros (RAE, 2018).

Sin embargo, también se usa el término adobe para el sistema constructivo que está formado básicamente por el aparejado de unidades de tierra cruda secadas al sol (adobes) aglutinados con barro, que hace las veces de mortero de pega (Rivera, 2012).

El adobe es un sistema de mampostería no reforzada. Se forma al moldear arcilla con agua y secar la masa al aire, repellada generalmente con mortero de cal. Los muros se forman al colocar hileras de adobes pegados con la misma arcilla humedecida. Los muros no poseen refuerzo lateral, por lo que son incapaces de resistir fuerzas laterales y de disipar la energía que el sismo les trasmite (CONRED, 1996).

#### **2.2.2.1. Ventajas de las construcciones de adobe**

**Gran capacidad térmica.** La tierra posee unas características aislantes favorables, que hacen que los elementos constructivos compuestos de ella, presenten unos valores de

resistencia térmica muy eficientes con respecto otros sistemas masivos (un muro de adobe puede llegar a comportarse 5 veces mejor que uno de hormigón armado) (Meta, 2018).

Pero sobretodo tiene una gran inercia térmica, que le confiere una gran capacidad de almacenamiento de calor, característica muy beneficiosa en climas de gran oscilación térmica entre el día y la noche (Meta, 2018).

**Altas propiedades higrotérmicas.** La tierra, como material poroso, tiene unas grandes cualidades de absorción de vapor de agua que permite equilibrar la cantidad de humedad interior y conseguir así un gran confort interior. Esta propiedad se mantiene también a la inversa, es decir, el material aporta su propia humedad en momentos de excesiva sequedad en el aire (Meta, 2018).

**Eliminación de olores indeseables.** Su composición química le confiere una gran capacidad de absorción de partículas tóxicas y olores desagradables. Cada vez se están utilizando más los revocos de tierra en establecimientos públicos y de hostelería por su capacidad para eliminar ese exceso de olores procedentes de la cocina (Meta, 2018).

**Gran comportamiento acústico.** Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados (Meta, 2018).

**Alta resistencia al fuego.** Gracias a su naturaleza físico-química, la tierra cruda presenta una gran estabilidad y resistencia al fuego, superior a otros materiales industriales como el acero y el ladrillo (Meta, 2018).

**Mínimo impacto ambiental.** Tanto en su proceso de fabricación y transporte (se necesita el 1% de la energía necesaria para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillo cocido), como en los residuos producidos en su fabricación y al final de su vida útil, al ser 100% reutilizable (Meta, 2018).

**Material gratuito y accesible en la naturaleza.** El hecho de tener el material de construcción de tu casa bajo tus pies, es algo extraordinario. Siempre obtenido bajo una cota de 40cm, para evitar el sustrato orgánico tan necesario para el cultivo de alimentos (Meta, 2018).

**Posibilidad de autoconstrucción.** Si bien la construcción con tierra puede ser trabajosa, las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas, siempre que haya una persona experimentada controlando el proceso constructivo. Las herramientas son sencillas y económicas (Meta, 2018).

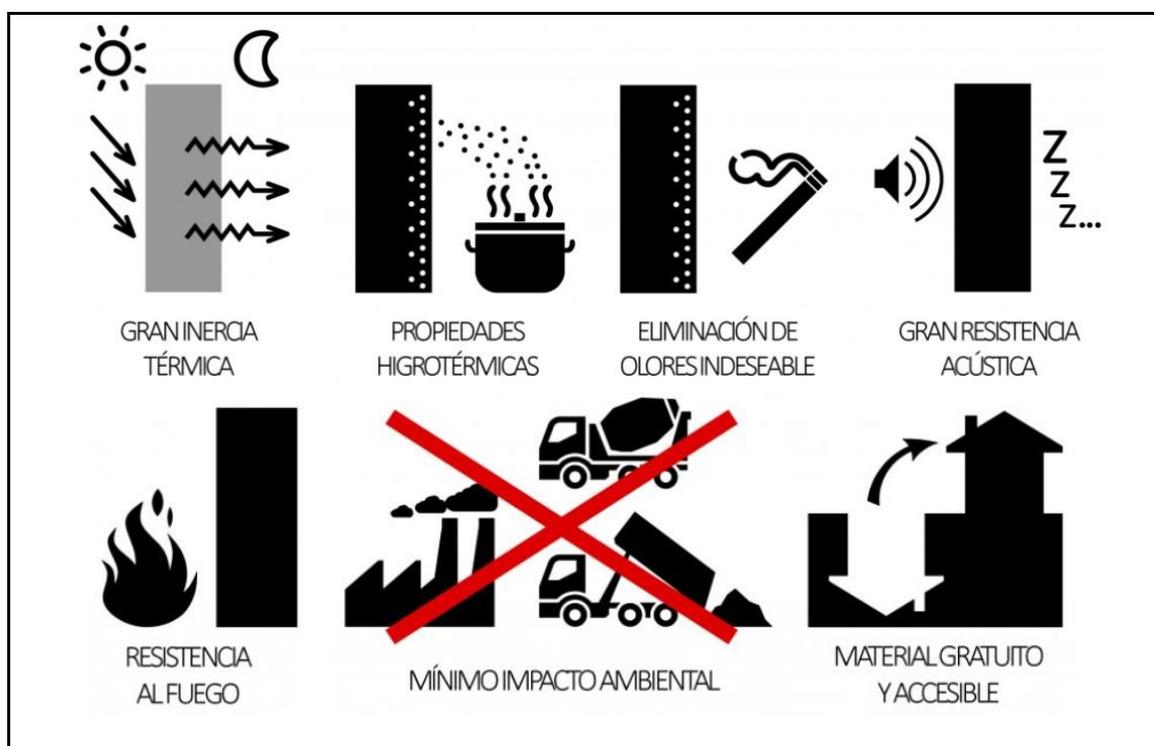


Figura 13: Ventajas de las construcciones de adobe  
Fuente: Construcción con Tierra (Meta, 2018).

### 2.2.2.2. Desventajas de las construcciones de adobe tradicional

#### Vulnerabilidad al agua

En presencia de agua el adobe pierde sus propiedades mecánicas y podría causar el colapso de las viviendas. (Muñiz, 2013)

Se conoce que los muros tradicionales de adobe colapsan en forma frágil cuando están expuestos a la acción de agua por un período largo de tiempo. Las lluvias copiosas que incrementan el caudal de los ríos producen inundaciones frecuentes que pueden afectar a las casas de adobe que se construyen en las áreas inundables, lo cual es común en el Perú. (CIP, 2012).

El agua produce sobre el material un efecto erosivo que si no se tienen en cuenta principios básicos de construcción podrán causar patologías en los edificios (Meta, 2018).

### Comportamiento sísmico

La construcción tradicional de adobe tiene una respuesta muy mala ante los movimientos telúricos, sufriendo daño estructural severo o llegando al colapso, causando con ello pérdidas significativas en términos de vida humana y daño material. La deficiencia sísmica de la construcción de adobe se debe al elevado peso de la estructura, a su baja resistencia y a su comportamiento frágil. Durante terremotos severos, debido a su gran peso, estas estructuras desarrollan niveles elevados de fuerza sísmica, que son incapaces de resistir y por ello fallan violentamente (Blondet , Villa y Brzev , 2003).

Los modos típicos de falla durante terremotos son severo agrietamiento y desintegración de muros, separación de muros en las esquinas y separación de los techos de los muros, lo que, en la mayoría de casos, lleva al colapso. Algunas deficiencias características de construcciones de adobe se resumen a continuación (Blondet et al., 2003).

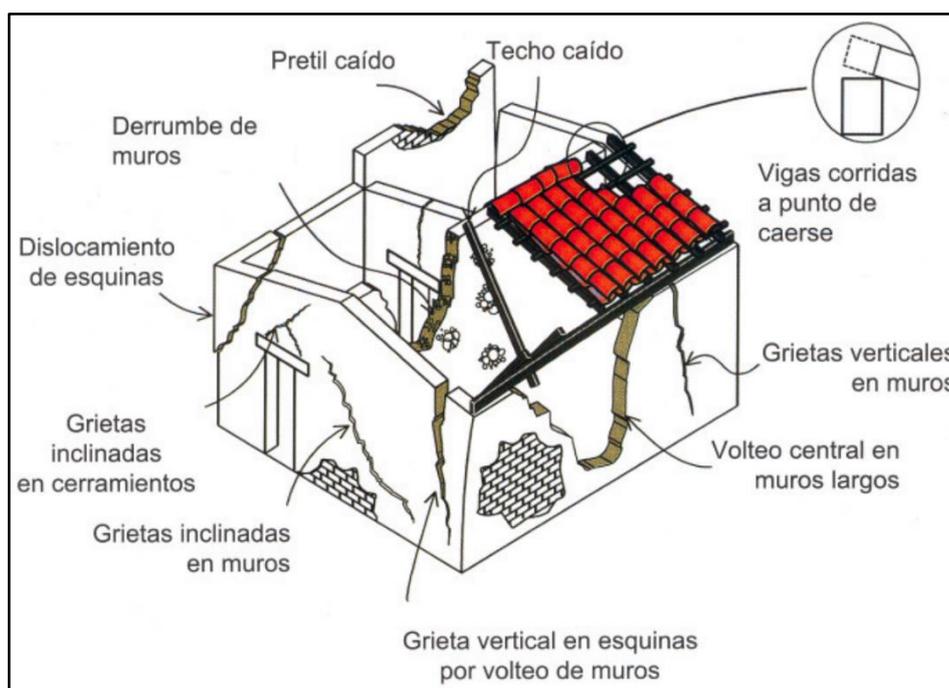


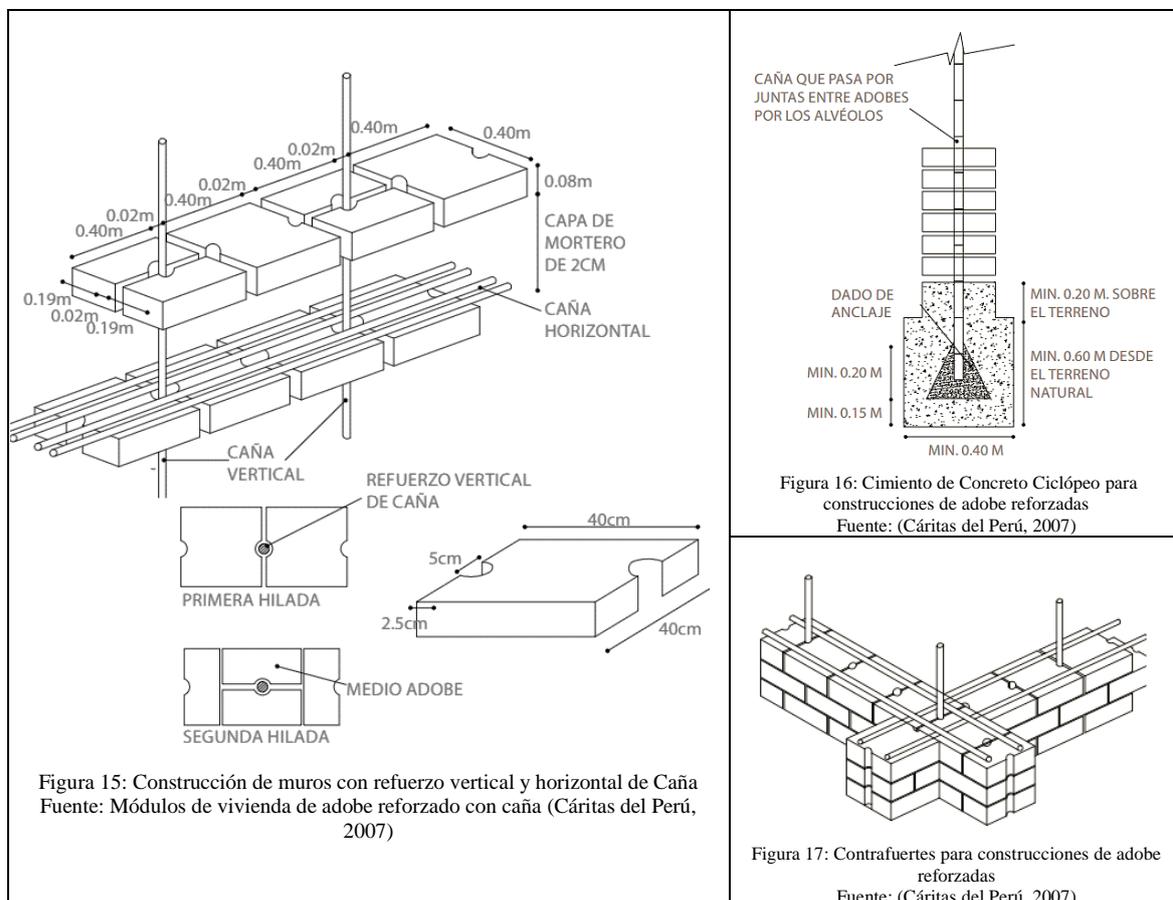
Figura 14: Deficiencias Sísmicas de Albañilería de Adobe

Fuente: Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos (Blondet et al., 2003).

#### 2.2.2.3. Uso de refuerzo horizontal y vertical en las construcciones de adobe

El reforzamiento puede hacerse con cualquier material dúctil, incluyendo: caña, bambú, junco, parra, sogá, madera, malla de gallinero, malla de púas o barras de acero. El refuerzo vertical ayuda a mantener la integridad del muro fijándolo a la cimentación y a la viga collar y restringe la flexión perpendicular al plano y el corte coplanar. El refuerzo horizontal ayuda a transmitir la flexión y las fuerzas de inercia en los muros transversales (perpendiculares al

plano de la sollicitación) hacia los muros que resisten el cortante (coplanares con la sollicitación), también restringe los esfuerzos de corte entre muros adyacentes y minimiza la propagación de las fisuras verticales (Blondet et al., 2003).



La norma E.080 del MVCS (2017) señala que las edificaciones de adobe deben ser construcciones reforzadas para conseguir el comportamiento siguiente:

- Durante sismos leves, las edificaciones de tierra reforzada pueden admitir la formación de fisuras en los muros.
- Durante sismos moderados, las edificaciones de tierra reforzadas pueden admitir fisuras más importantes, sin embargo, están controladas por refuerzos, sin producir daños a los ocupantes. La estructura debe ser reparable con costos razonables.
- Durante la ocurrencia de sismos fuertes, se admite la posibilidad de daños estructurales más considerables, con fisuras y deformaciones permanentes, pero controladas por refuerzos. No deben ocurrir fallas frágiles y colapsos parciales o totales, que puedan significar consecuencias fatales para la vida de los ocupantes.

### 2.2.3. Composición del adobe

Los materiales que componen al adobe son accesibles y económicos, es por ello que gran parte de la población adopta a este material para la construcción de sus viviendas especialmente los pobladores ubicados en la zona rural. Tradicionalmente está compuesto por tierra, fibras naturales (paja ichu) y agua.

#### 2.2.3.1. El suelo

La composición del suelo o tierra que escojamos influirá directamente en la resistencia final del bloque. Las características y propiedades de la tierra dependen del lugar en el que se encuentra, y las cantidades de los componentes determina el tipo de suelo: arcilloso, limoso o arenoso. La arcilla es el aglomerante del resto de partículas que conforman el hormigón de tierra o barro. (Calderón, 2013).

La Norma E.080 del año 2006, en el artículo 4 propone los siguientes porcentajes en volumen para el suelo: arcilla – 10% a 20%, limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados (Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, pág. 01). La Norma E.080 (Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), propone pruebas de campo para identificar si un suelo es apto para la elaboración del adobe tales como: Prueba de cinta de barro, prueba presencia de arcilla o resistencia seca y prueba de contenido de humedad.



Figura 18: Tamaños del suelo (Grava, Arena; limo, Arcilla)

Fuente: Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales material pedagógico de tierra en Cuenca (INPC)

## **Arcilla**

La palabra arcilla proviene del latín “argilla” y ésta del griego “argos” o “argilos” (=blanco), por el color del material usado en cerámica (Besoain, 1985).

La arcilla confiere a la tierra su cohesión, uniendo las partículas de grava, arena y limo gracias a su capacidad para atrapar agua entre sus láminas, lo cual permite "pegar" las diferentes partículas entre sí (Carnevale et al, 2015).

Sin duda, las propiedades más conspicuas de la arcilla se relacionan con su naturaleza coloidal y se refieren a una superficie específica alta y características como plasticidad, adherencia, contracción, tixotropía, reopexia y otras. Estas propiedades influyen directamente sobre el comportamiento del suelo. Si se consideran las propiedades físicas, la arcilla influye sobre la granulometría, retención de humedad, conductividad hidráulica, succión de agua, grado de infiltración, temperatura, conductividad térmica, punto de adherencia y otras (Besoain, 1985).

## **Limo**

El limo o légamo es un material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm (Calderón, 2013).

## **Arena.**

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm). Una partícula individual dentro de este rango es llamada «grano de arena». Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca (Calderón, 2013).

### **2.2.3.2. Agua**

Según la Norma E.080 del MVCS (2017) el agua debe cumplir las características siguientes:

- Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.

- Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.
- El agua de mar sólo puede emplearse si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión.

El agua constituye un elemento indispensable en la elaboración del mortero y/o del adobe. Debe ser limpia y sin partículas contaminantes (disueltas o en suspensión). Si se emplean aguas de río, pantanos, de mar, deben ser analizadas previamente para determinar sus contenidos en impurezas y sales (Calderón, 2013).

### **2.2.3.3. Paja ichu**

Ichu (del quechua ichu, nombre indígena de la planta en cuestión). Formación de gramíneas de las punas y otros niveles altos de montaña, en que domina la gramínea *Stipa ichu*. El término procede del Perú y Bolivia, y el tipo de vegetación abarca también las alturas andinas del norte de Chile y noroeste de la Argentina (Font, 1982).

El ichu o paja ichu (*Stipa ichu*) es un pasto del altiplano andino empleado como forraje para el ganado, principalmente de auquénidos. Según el diccionario de la Academia de la Lengua Quechua (2005) el ichu (*Stipa ichu*) en botánica significa la paja de las punas.

La paja, una vez seca, se pica en trozos de entre 5 cm a 10 cm de largo y se guarda en bolsas, quedando lista para agregar durante el batido (Neves y Borges, 2011).

Durante el proceso de mezclado, se añade paja a la mezcla, aproximadamente en un 20 % en volumen, para controlar las fisuras (Igarashi, 2009).

Después de dormido y batido el barro se agrega a la mezcla materias inertes compuestas de fibras de paja o pasto seco con una proporción del 20% en volumen (Morales et. al, 1993).

Obtenida la mezcla maleable de suelo arcilloso, arena, gravas de diferentes tamaños y fibras vegetales como la paja en una proporción aproximada de arcilla/limo 1%, arena 55-64% y paja 1% (Universidad Politécnica de Cataluña, 2012).

La NTP E.080 del MVCS (2017) en el capítulo IV (Construcción de edificaciones de adobe reforzado), señala:

- Con el control de fisuras mediante la adición de paja, se controla el agrietamiento del adobe y del mortero durante el secado con paja o fibras similares.
- En ausencia de paja, para el control del agrietamiento se debe utilizar arena gruesa.

La paja son aditivos naturales que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido. En los suelos arcillosos se debe usar paja de aproximadamente 50 mm de largo en proporción de 1 volumen de paja por 5 de tierra, lo que ayuda al control de fisuras y resistencia, Norma E 0.80 (MVCS, 2017).

### **Etimología**

- **Stipa:** Nombre genérico que deriva del griego stupe (estopa, estopa) o stuppeion (fibra), aludiendo a las aristas plumosas de las especies euroasiáticas, o (más probablemente) a la fibra obtenida de pastos de esparto.
- **Ichu:** Paja en quechua

### **Nombre científico**

- *Stipa Ichu* (Ruiz et Pavon) Kunth

### **Composición de la paja ichu.**

En el proyecto de investigación, Obtención de Bioetanol Anhidro a partir de Paja (*Stipa Ichu*), se caracterizó la materia prima obteniéndose como resultado la siguiente composición en base seca: 45.9 % celulosa, 18.2 % lignina, 5.5 % pentosanos y 5.6 % cenizas. La humedad en base seca es igual a 57.7 % y el contenido de ceras, resinas y grasas igual a 6.7 %. (Albarracín, Jaramillo, y Albuja, 2015).

### **La estructura del *Stipa Ichu***

La estructura de fibra Ichu está compuesta por los tallos y las hojas; ambos tienen una forma tubular y pueden confundirse fácilmente. El diámetro de fibra promedio es de 0.39 y 0.83 para fino y grueso Ichu respectivamente (Atahuachi y Carcausto, 2018).

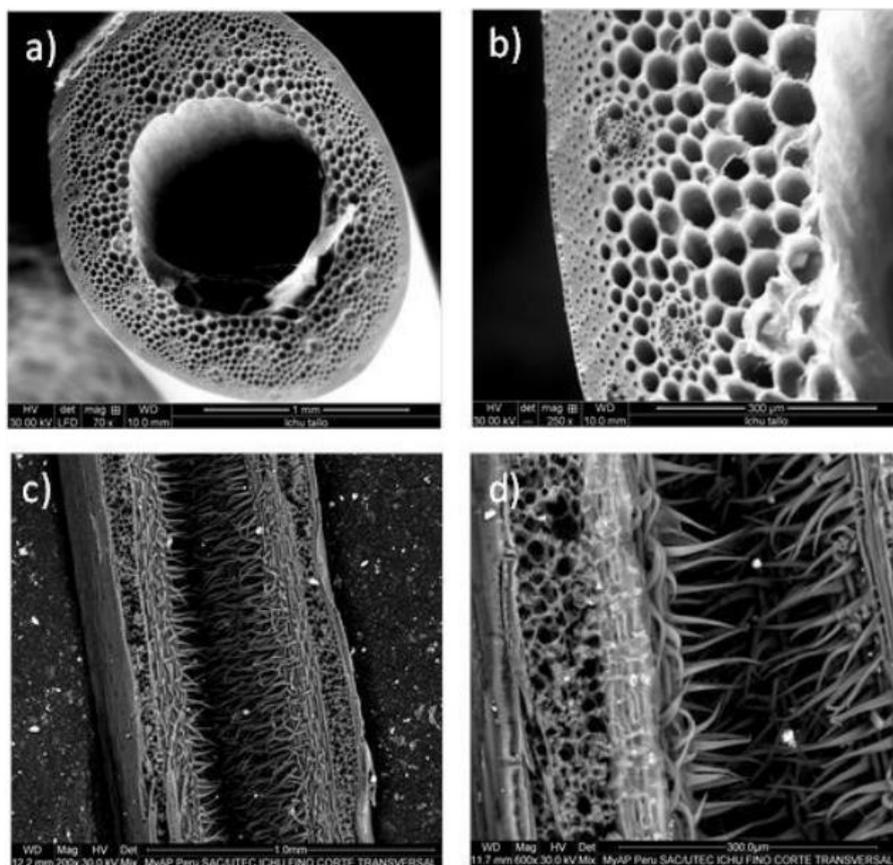


Figura 19: SEM micrografía para: a) y b) del vástago de fibra Ichu y c) y d) Ichu licencia fibra.

Fuente: (Atahuachi y Carcausto, 2018).

### Caracterización física del stipa ichu

Atahuachi y Carcausto (2018) en su tesis, *Aislante termoacústico a base de Stipa Ichu para atenuar el ruido y cambios drásticos de temperatura en viviendas de sectores en expansión urbana de la ciudad de Puno*, realizan la caracterización física de la paja ichu, el resumen se presenta a continuación:

Tabla 4: Caracterización física del stipa ichu

| Caracterización física del stipa ichu   |                               |                      |
|---|-------------------------------|----------------------|
| Ensayo                                  | Unidad                        | Valor                |
| • Contenido de Humedad                  | %                             | 10.005               |
| • Densidad                              | (g/ cm <sup>3</sup> )         | 1.155                |
| • Porosidad                             | %                             | 98.534               |
| • Fibra Cruda                           | %                             | 39.228               |
| • Cenizas                               | %                             | 4.38                 |
| • Durabilidad a los Hongos              | Índice de durabilidad natural | Altamente resistente |
| • Aislamiento Acústico (Stipa ichu 4cm) | K (W/m <sup>2</sup> K)        | 0.069                |

Fuente: (Atahuachi y Carcausto, 2018).

- **Resistencia al Fuego**

Tabla 5: Comportamiento del aislante termoacústico a base de solo Stipa Ichu, frente al agente externo fuego

| TEMPERATURA (°C)   |               |                  |
|--------------------|---------------|------------------|
| TIEMPO (MIN)       | CARA EXPUESTA | CARA NO EXPUESTA |
| 0                  | 4.00          | 3.13             |
| 5                  | 156.13        | 6.33             |
| 10                 | 299.37        | 27.17            |
| 15                 | 828.50        | 60.70            |
| 20                 | 1509.63       | 404.37           |
| Radio de quemadura |               | 16cm             |

Fuente: (Atahuachi y Carcausto, 2018).

- **Resistencia a la Flexión**

Las muestras ensayadas en el ensayo fueron tres (03), donde el espesor fue de 5cm de Stipa Ichu y 1cm de revestimiento de yeso, de lo que, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6: Resistencia a la flexión de Stipa Ichu

| DESCRIPCIÓN | LECTURA DEL DIAL (kg-f) |       | RESISTENCIA<br>ALA FLEXIÓN<br>(MPa) | RESISTENCIA<br>ALA FLEXIÓN<br>(kg-f/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|---|
|             | P (kg-f)                | P (N) | $R = PL / (bd^2)$                   | R   |
| M -01       | 63                      | 617   | 0.50                                | <b>5.13</b>   |
| M -02       | 64                      | 623   | 0.52                                | <b>5.27</b>   |
| M -03       | 63                      | 613   | 0.50                                | <b>5.13</b>   |

Fuente: (Atahuachi y Carcausto, 2018).



Figura 20: Carga a velocidad constante con el equipo de resistencia a la flexión.

Fuente: (Atahuachi y Carcausto, 2018)

### 2.2.4. Geometría del adobe

De la Norma E.080 del MVCS (2017):

- El bloque de adobe puede ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros, de formas especiales, pueden tener ángulos diferentes de 90°.
- El bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso.
- El bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho.
- La altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.

### 2.2.5. Principios de resistencia de materiales

#### 2.2.5.1. Compresión

Se presenta cuando sobre una pieza actúan dos fuerzas iguales, pero de sentido contrario y que tienden a acortar el material. Se suponen las mismas hipótesis e idéntico desarrollo que en tracción, salvo por el convenio de signos, que asigna valor negativo a la compresión (Badiola, 2004).

$$\sigma = \frac{P}{A}(-) \quad \dots (1)$$

$$\delta = \frac{P \cdot L_0}{E \cdot A}(-) \quad \dots (2)$$

#### 2.2.5.2. Tracción

Badiola (2004) señala que la tracción se presenta cuando sobre un elemento actúan dos fuerzas iguales, pero de sentido contrario y que tienden a alargar el material. Para tener únicamente tracción, el esfuerzo de situarse en el centro de gravedad de la sección. Las tensiones se estudian en el sentido del corte si cortamos una sección perpendicular al esfuerzo a una distancia  $x$  y lo separamos del resto, el esfuerzo  $p$  nos dará tensiones  $\sigma$ . suponemos que las tensiones son uniformes, es decir, iguales en todos los puntos de la sección:

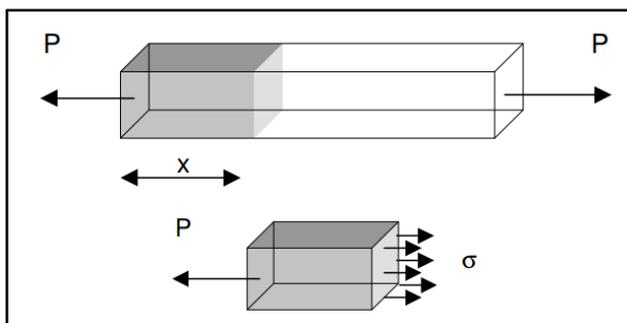


Figura 21: Viga sometida a tracción  
Fuente: Principios Básicos de Resistencia de Materiales (Badiola, 2004)

$$\int \sigma \cdot dA = \sigma \cdot A = P, \text{ luego } \sigma = \frac{P}{A} \quad \dots (3)$$

Por convenio se considera que la tracción es positiva. Las deformaciones se deducen a partir de las siguientes expresiones:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad \dots (5)$$

$$\text{Luego, } \sigma = \frac{P}{A} = E \cdot \frac{\delta}{L_0} \rightarrow \delta = \frac{P \cdot L_0}{E \cdot A} \quad \dots (6)$$

### 2.2.5.3. Flexión pura

Badiola (2004) señala que la flexión pura es la consecuencia de unos esfuerzos o momentos exteriores que nos producen en la sección cortada exclusivamente un momento de flexión. Se consideran las siguientes hipótesis de trabajo:

- La viga es originalmente recta con una sección transversal constante en la longitud de la viga.
- La viga posee un eje de simetría en el plano de flexión de la viga.
- Las proporciones de la viga son tales que falla por flexión antes que por pandeo, etc.
- Las secciones transversales permaneces planas después de la deformación.

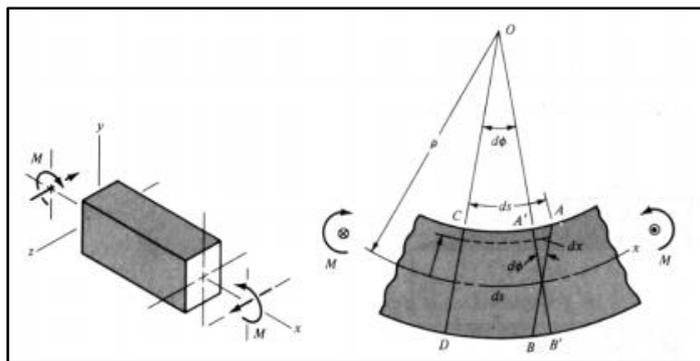


Figura 22: Viga sometida a flexión  
Fuente: Principios Básicos de Resistencia de Materiales (Badiola, 2004)

### 2.2.6. Ensayos mecánicos.

La Norma E.080 del MVCS (2017) señala los siguientes ensayos para medir la resistencia a compresión del adobe:

#### 2.2.6.1. Resistencia del material tierra a la compresión

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos) se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.
- La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente:  $f_0 = 1.0 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$ .
- Los cubos de adobes o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

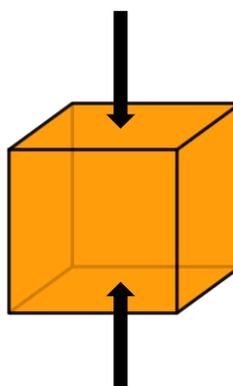


Figura 23: Ensayo de Compresión a la unidad

### 2.2.6.2. Resistencia del murete a la compresión

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la compresión, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia última es de  $0.6 \text{ MPa} = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$ .
- El ensayo de compresión en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente).
- Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

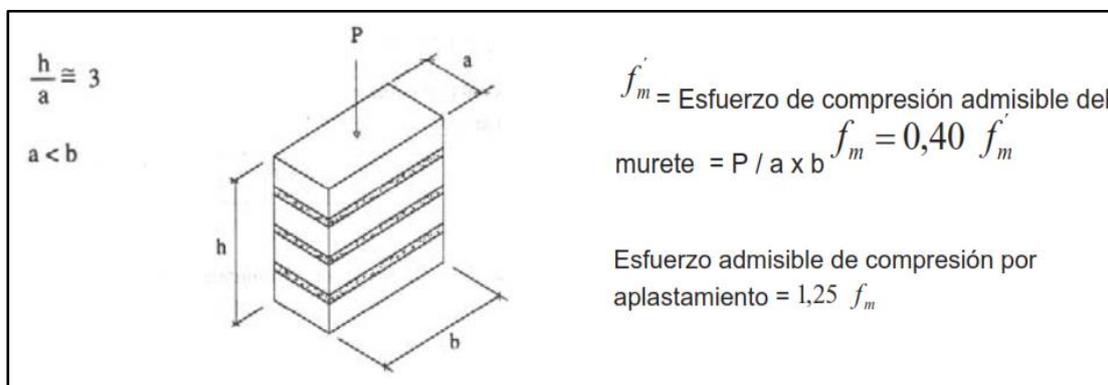


Figura 24: Ensayo de compresión en Muretes  
Fuente: Norma E.080 del MVCS (2017)

### 2.2.6.3. Resistencia del material tierra a la tracción

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia se debe medir mediante el ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
- La resistencia última es de  $0.08 \text{ MPa} = 0.81 \text{ kgf/cm}^2$ .
- Las muestras deben tener humedad inicial de 20 % a 25 % para control de adobes y 10 % a 15 % para control de tapial, y un secado cubierto de sol y viento de 28 días, debiendo cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

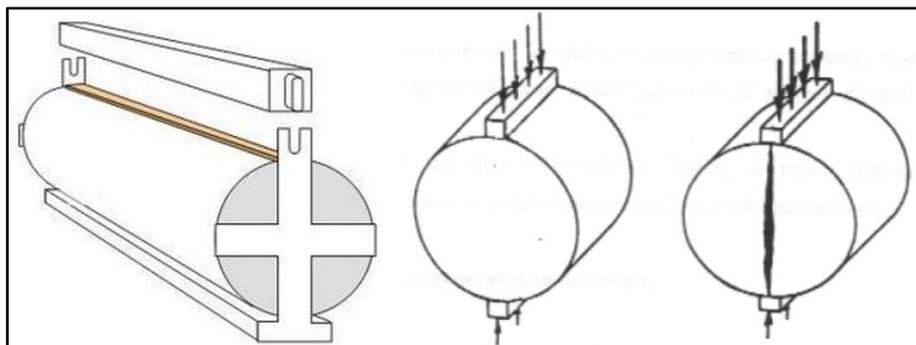


Figura 25: Ensayo de tracción indirecta

#### 2.2.6.4. Resistencia del mortero a la tracción

Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del mortero a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

- La resistencia se debe medir mediante el ensayo de morteros a tracción indirecta, en probetas de dos adobes unidos por mortero de barro con o sin aditivos naturales, sujetos a compresión de manera similar al ensayo brasileño.
- La resistencia última es de  $0.012 \text{ MPa} = 0.12 \text{ kgf/cm}^2$ .
- Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

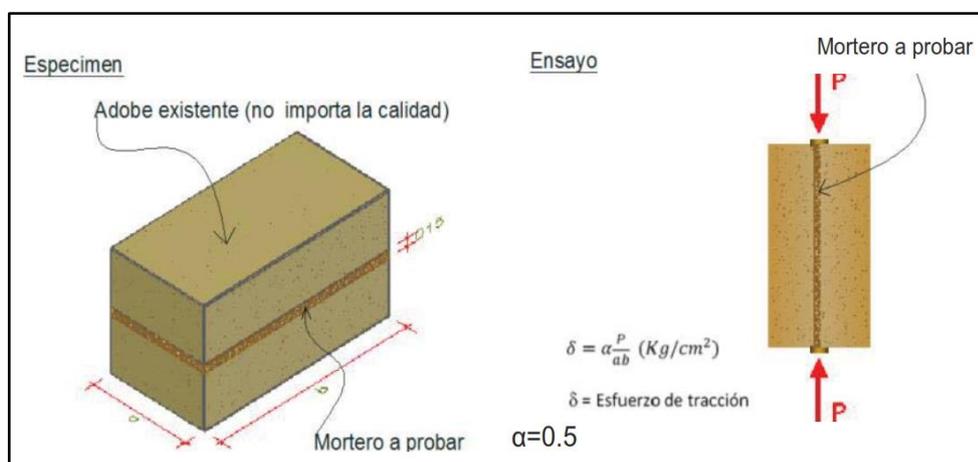


Figura 26: Ensayo de resistencia del mortero a la tracción.  
Fuente: Norma E.080 del MVCS (2017)

#### 2.2.6.5. Resistencia del adobe a la flexión

Para la resistencia del adobe a flexión se las realizará bajo los parámetros de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2554. Una viga de hecha de adobe simple apoyada libremente en los extremos es cargada en los tercios de la luz libre hasta que ocurra la rotura del espécimen. La carga aplicada es continua, sin impacto a una velocidad constante. La

resistencia a la flexión se determina por medio del módulo de rotura según las expresiones que se indican en esta norma.

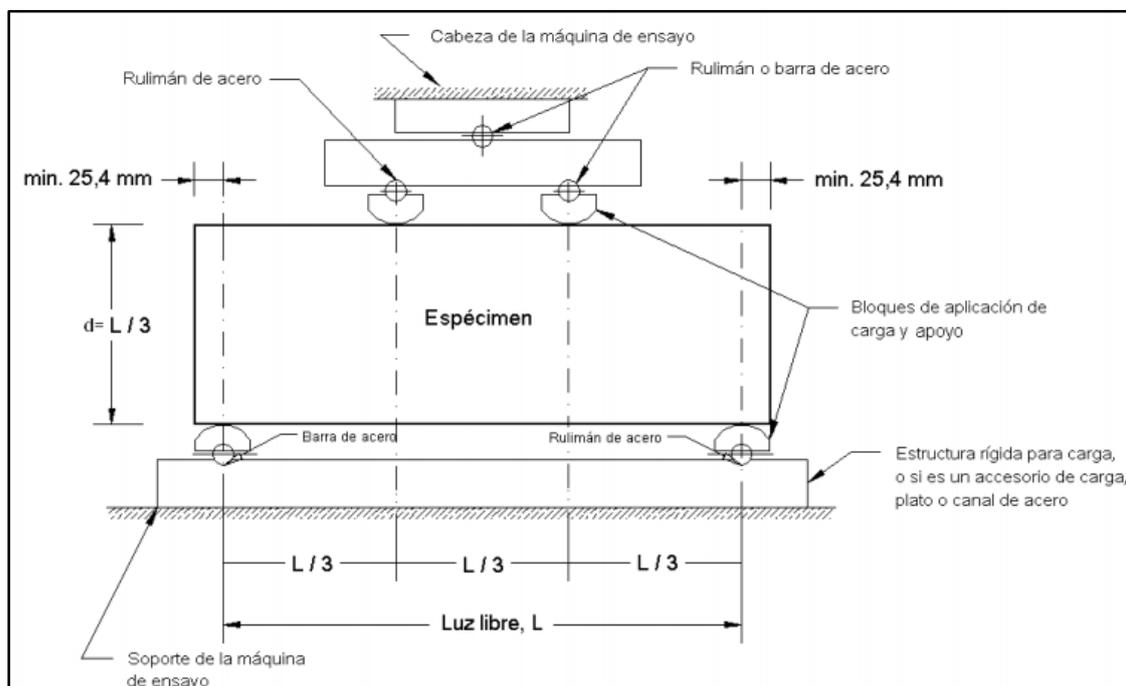


Figura 27: Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre  
Fuente: NTE 2554 (INEN, 2011)

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Se tiene algunas definiciones dadas por la Norma E.080 del MVCS (2017):

**Aditivos naturales.** Materiales naturales como la paja y la arena gruesa, que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido.

**Adobe.** Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

**Adobe (Técnica).** Técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro.

**Arcilla.** Único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm).

**Arena fina.** Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias.

**Arena gruesa.** Es un componente inerte, estable en contacto con el agua, sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca comprendidas entre 0.6 mm y 4.75 mm (según Normas Técnicas Peruanas y/o las mallas N° 30 y N° 4 ASTM) que conforman la estructura granular resistente del barro en su proceso de secado. La adición de arena gruesa a suelos arcillosos, disminuye el número y espesor de las fisuras creadas en el proceso de secado, lo que significa un aumento de la resistencia del barro seco según se ha comprobado en el laboratorio.

**Dormido.** Proceso de humedecimiento de la tierra ya zarandeada (cernida o tamizada para eliminar piedras y terrones), durante dos o más días, para activar la mayor cantidad de partículas de arcilla, antes de ser amasada con o sin paja para hacer adobes o morteros.

**Fisura o grieta estructural.** Rajadura que se presenta en los muros de tierra producidas por cargas mayores a las que puede resistir el material, por gravedad, terremotos, accidentes u otros. Atraviesan los muros de lado a lado y pueden ser de espesores variables o invisibles al ojo humano.

Grieta: Abertura mayor a un milímetro.

Fisura: Abertura igual o menor de un milímetro.

**Limo.** Es un material componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendidos entre 0.002 mm y 0.08 mm.

**Mortero.** Material de unión de los adobes en una albañilería. Debe ser de barro mezclado con paja o con arena gruesa y eventualmente con otras sustancias naturales espesas para controlar las fisuras del proceso de secado (cal, mucílagos de cactus, y otros comprobados).

**Muro.** Es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre laterales y/o verticales y que incluye refuerzos.

**Prueba de campo.** Ensayo realizado sin herramientas a pie de obra o en laboratorio, basados en conocimientos comprobados en laboratorio a través de métodos rigurosos, que permite tomar decisiones de selección de canteras y dosificaciones.

**Prueba de laboratorio.** Ensayo de laboratorio que permite conocer las características mecánicas de la tierra, para diseñar y tomar decisiones de ingeniería.

**Secado.** Proceso de evaporación del agua que existe en la tierra húmeda. El proceso debe controlarse para producir una evaporación muy lenta del agua, mientras la arcilla y barro se contraen y adquieren resistencia. Si la contracción es muy rápida, se producen fisuras.

**Tierra.** Material de construcción compuesto de cuatro componentes básicos: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa.

## **CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **3.1. HIPÓTESIS**

La incidencia de la adición de la fibra vegetal paja ichu es positiva puesto que aumenta la resistencia mecánica del adobe en más del 5 % en el distrito de Cajamarca.

### **3.2. VARIABLES / CATEGORÍAS**

**3.2.1. Variable Independiente:** Porcentaje de paja ichu.

**3.2.2. Variable Dependiente:** Resistencia mecánica del adobe

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN / CATEGORIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA HIPOTESIS

Tabla 7: Operacionalización / categorización de los componentes de la hipótesis

| <b>TÍTULO: INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL “PAJA ICHU” EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA.</b>  |   |   |  |   |  |
|--|---|---|--|---|--|
| <b>Hipótesis</b>   | <b>Definición conceptual de las variables / categorías</b>  | <b>Definición Operacional</b>   |  |   |  |
|  |   | <b>Variables / Categorías</b>   | <b>Dimensiones</b>   | <b>Indicadores</b>  | <b>Fuente de recolección de datos</b>  |
| La incidencia de la adición de la fibra vegetal paja ichu es positiva puesto que aumenta la resistencia mecánica del adobe en más del 5 % en el distrito de Cajamarca. | <p><b>Porcentaje de paja ichu</b></p> <p>El ichu, icho, paja brava o paja ichu (<i>Stipa ichu</i>) es un pasto del altiplano andino sudamericano, México y Guatemala empleado como forraje para el ganado, principalmente de camélidos sudamericanos. Es endémica de Guatemala, México, Costa Rica, El Salvador, Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina.</p> | <p><b>Variables Independientes:</b></p> <p>Porcentaje de paja ichu.</p>   | <p>Porcentaje (%)</p>  | <p>Cantidad de paja ichu con respecto al peso (kg) seco de la tierra:</p> <p>0.00 % de paja ichu.</p> <p>0.40 % de paja ichu.</p> <p>0.80 % de paja ichu.</p> <p>1.20 % de paja ichu.</p> | <p>Fichas de apuntes de los pesos de paja ichu.</p>  |
|  | <p><b>Resistencia mecánica:</b></p> <p>Resistencia mecánica que se presenta cuando sobre una pieza actúan dos fuerzas iguales, pero de sentido contrario y que tienden a acortar el material.</p>   | <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Resistencia mecánica del adobe</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia a la compresión del adobe <math>f_0</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Resistencia a tracción del adobe (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Resistencia a flexión del adobe (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Resistencia del mortero a la tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Resistencia del murete a la compresión <math>f'_m</math> (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> </ul> | <p>Incremento de la resistencia mecánica del adobe.</p>   | <p>Ficha de datos de las pruebas a compresión, tracción y flexión de los especímenes de adobe.</p> |

## CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

### 4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Cajamarca

Esta investigación se realizó tanto en la Universidad Nacional de Cajamarca y en la cantera adobera Cruz Blanca.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), la cual se encuentra ubicada en la Av. Atahualpa N° 1050, en la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú. Con coordenadas UTM: 9 206 975-N y 776 618-E y una altitud de 2687 msnm. El suelo de esta cantera cumple con la gradación dada en la Norma E.080 del año 2006 (Ver anexo, estudio de suelos).

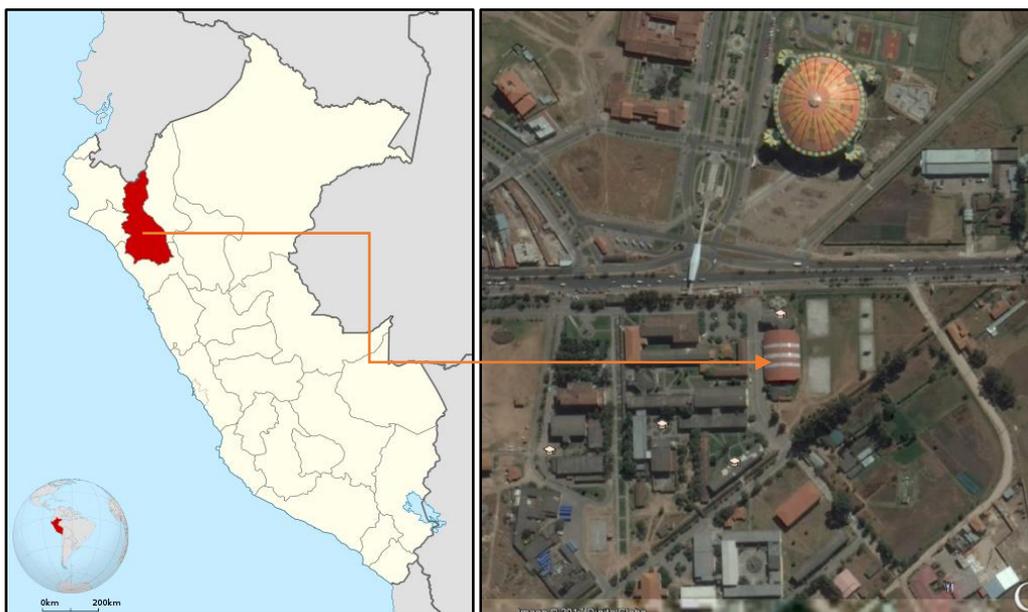


Figura 28: Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se desarrollará la investigación.

Fuente: Google Earth (2018)

En la cantera Adobera Cruz Blanca, ubicada en la Av. Independencia N° 1860 barrio Cruz Blanca, en la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú. Con coordenadas UTM: 9 204 814-N y 774 719-E.

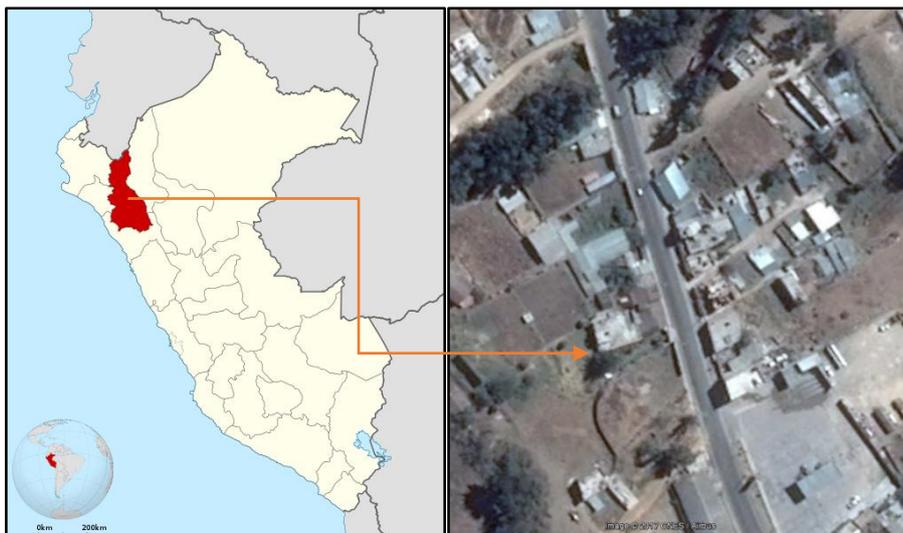


Figura 29: Ubicación geográfica de la cantera ex adobera Cruz Blanca donde se elaborarán los especímenes de adobe.

Fuente: Google Earth (2018)

## 4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Tipo: Aplicada

4.1.2. Nivel: Relacional

4.1.3. Diseño: Experimental

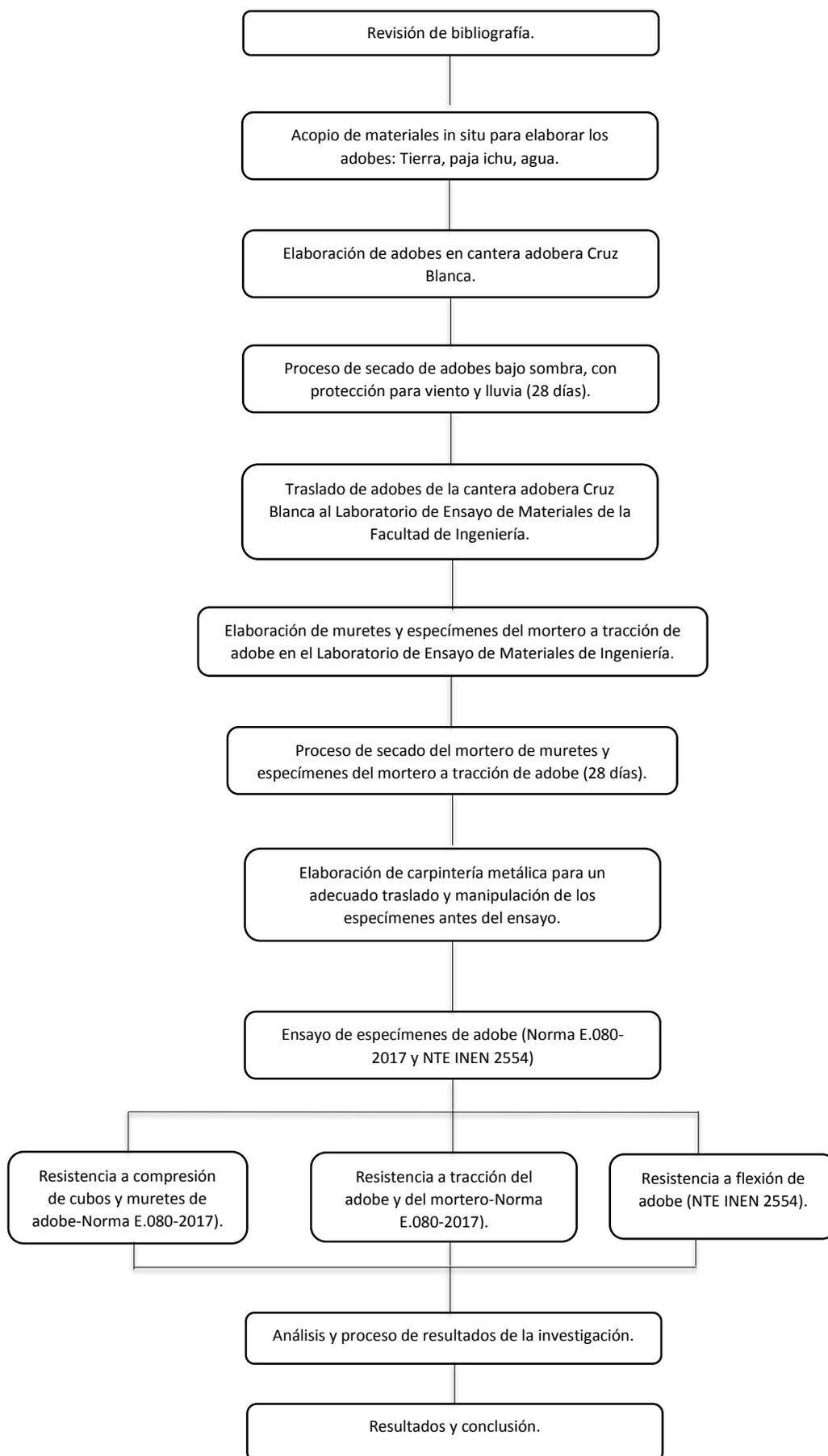


Figura 30: Secuencia del proceso de investigación.

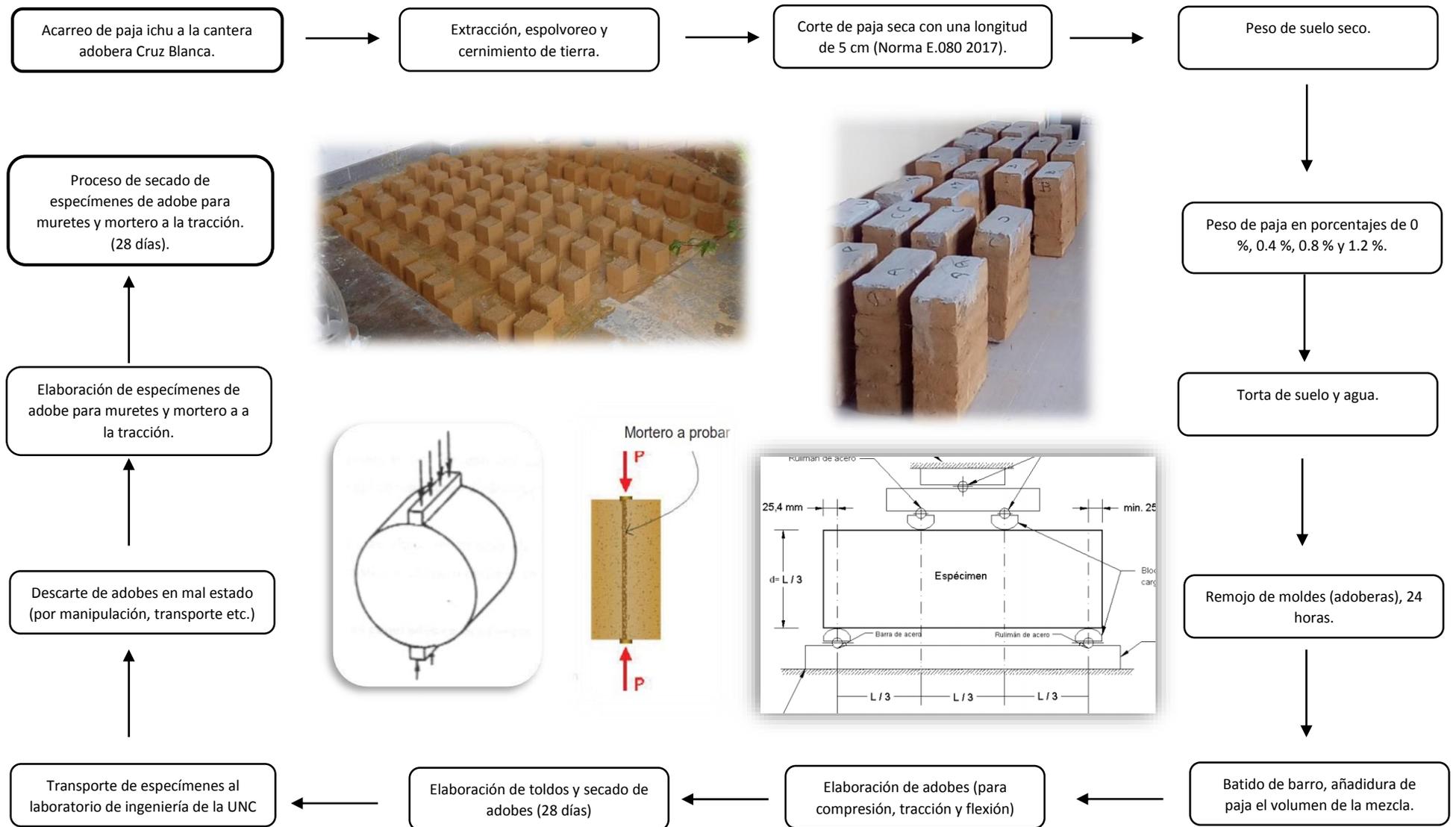


Figura 31: Secuencia de la elaboración de especímenes de adobe.

### 4.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método hipotético-deductivo es aplicado en esta investigación, compuesto por los siguientes pasos esenciales:

- Observación del fenómeno a estudiar.
- Creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno.
- Deducción de consecuencias o proposiciones más elementales de la propia hipótesis.
- Verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

Los tipos de investigación de acuerdo a los diversos criterios son:

Tabla 8: Tipos de investigación según distintos criterios

| <b>Criterio</b>                           | <b>Tipo de investigación</b> |
|---|------------------------------|
| Finalidad                                 | Aplicada                     |
| Estrategia o enfoque teórico metodológico | Cuantitativa                 |
| Objetivos (alcances)                      | Correlacional                |
| Fuente de datos                           | Primaria                     |
| Control en el diseño de la prueba         | Experimental                 |
| Temporalidad                              | Transversal                  |

### 4.4. POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN

#### 4.4.1. Población

Todos los especímenes de adobe elaborados con la tierra de la cantera adobera Cruz Blanca con diversos porcentajes de paja ichu sometidos a ensayos mecánicos de compresión, tracción y flexión.

#### 4.4.2. Muestra

El número de especímenes de adobe se determinaron siguiendo las recomendaciones de las Norma E.080 del MVCS (2017), éstos fueron elaborados con la tierra de la cantera adobera Cruz Blanca. A continuación, se detalla los especímenes de adobe en la siguiente tabla:

Tabla 9: Ensayos mecánicos para hallar la resistencia mecánica del adobe

| Porcentaje de paja Ichu | N° ensayos mecánicos para hallar la resistencia mecánica del adobe |  |                                  |                                       |                                 |
|-------------------------|--|--|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                         | Resistencia a la compresión del adobe                              | Resistencia del murete a la compresión | Resistencia a tracción del adobe | Resistencia del mortero a la tracción | Resistencia a flexión del adobe |
| 0.00                    | 12   | 6                                      | 6                                | 6                                     | 6                               |
| 0.40                    | 12   | 6                                      | 6                                | 6                                     | 6                               |
| 0.80                    | 12   | 6                                      | 6                                | 6                                     | 6                               |
| 1.20                    | 12   | 6                                      | 6                                | 6                                     | 6                               |
| <b>Total</b>            | 48   | 24                                     | 24                               | 24                                    | 24                              |

El suelo la cantera adobera Cruz Blanca cumple con la gradación dada en la Norma E.080 del año 2006 (Ver anexo, estudio de suelos).

**4.4.3. Unidad de análisis:** Espécimen de adobe por cada tipo de resistencia mecánica.

**4.4.4. Unidad de observación:** Espécimen de adobe por cada tipo de resistencia mecánica.

#### **4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Para recopilar la información se usarán el método cuantitativo y la observación directa.

El método cuantitativo se usará para medir las variables cuantitativas de estudio de los porcentajes de paja de los especímenes de adobe a elaborar; para lo cual se emplearán equipos e instrumentos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca tales como: Máquina de ensayo a compresión universal, moldes adecuados para la elaboración y control de calidad los especímenes de adobe, balanzas.

#### **4.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

##### **Técnicas:**

- Elaboración de fichas. (Ver Anexos)

##### **Análisis de información:**

La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de los diferentes porcentajes de paja ichu con los que se elaboró los diferentes especímenes de adobe (compresión, tracción, flexión) será procesada mediante métodos estadísticos como la

determinación de promedios, análisis de varianza y prueba de hipótesis, para lo cual se empleó programas computarizados como Minitabs y Microsoft Excel.

#### **4.7. EQUIPOS, MATERIALES, INSUMOS**

##### **4.7.1. Equipo**

###### **a. Personal**

- Ingeniero civil investigador.
- Operario (01)
- Peón (01)

###### **b. Equipo de laboratorio**

- Máquina de compresión universal.
- Pórtico de compresión.

##### **4.7.2. Materiales**

- Computadora portátil
- Herramientas manuales
- Moldes metálicos

##### **4.7.3. Insumos**

- Tierra areno arcillosa
- Paja Ichu
- Agua

#### 4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA

Tabla 10: Matriz de consistencia metodológica

| INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL “PAJA ICHU” EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA            |  |  |  |  |   |   |   |   |
|--|--|--|--|--|---|---|---|---|
| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA   | OBJETIVO   | HIPÓTESIS  | VARIBALES  | DIMENSIONES  | INDICADORES   | FUENTE O INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN                                   | METODOLOGÍA   | POBLACIÓN Y MUESTRA   |
| ¿Cuál es la incidencia de la fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca? | Determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca. | La incidencia de la fibra vegetal paja ichu es positiva puesto que aumenta la resistencia mecánica del adobe en más del 5 % en el distrito de Cajamarca. | Independiente:<br>Porcentaje de paja ichu.         | Porcentaje (%)   | Cantidad de paja ichu con respecto al peso (kg) seco de la tierra:<br>0 % de paja ichu.<br>0.40 % de paja ichu.<br>0.80 % de paja ichu.<br>1.20 % de paja ichu. | Peso de paja ichu   | Usar paja ichu en diversos porcentajes para la elaboración de especímenes de adobes.  | Población: paja ichu del distrito de Cajamarca.<br><br>Muestra: 10 Kg de fibras de paja ichu.   |
|  |  |  | Dependiente:<br><br>Resistencia mecánica del adobe | Resistencia a la compresión del adobe $f_0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )<br><br>Resistencia a tracción del adobe (Kg/cm <sup>2</sup> )<br><br>Resistencia a flexión del adobe (Kg/cm <sup>2</sup> )<br><br>Resistencia del mortero a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )<br><br>Resistencia del murete a la compresión $f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Incremento de la resistencia mecánica del adobe.  | Pruebas a compresión, tracción y flexión de los especímenes de adobe. | Hallar la resistencia mecánica a compresión, tracción y flexión de los especímenes de adobe sometidos a ensayos de compresión de cubos, compresión de muretes, tracción del mortero, flexión. | Población. Especímenes de adobe.<br>Muestra: 144 especímenes de adobe, cumpliendo con la Norma E.080 (MVCS, 2017) bajo la siguiente distribución:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 36 especímenes de adobe sin paja.</li> <li>• 36 especímenes de adobe con paja al 0.40 %.</li> <li>• 36 especímenes de adobe con paja al 0.80 %.</li> <li>• 36 especímenes de adobe con paja al 1.20 %.</li> </ul> |

## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta los resultados, el análisis, discusión e interpretación de los mismos obtenidos después de haber realizados los ensayos pertinentes. Así como también se hace la contrastación de la hipótesis.

### 5.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 5.1.1. Determinación de la resistencia a la compresión del adobe sin paja (A) y los adobes con paja (B, C, D)

Tabla 11: Resumen de la resistencia a la compresión del adobe sin paja (A) y del adobe con paja (B, C y D)

| N°           | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |               |               |               |
|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|              | A                              | B             | C             | D             |
| 1            | 13.34                          | 16.16         | 15.34         | 13.31         |
| 2            | 13.29                          | 12.27         | 14.29         | 12.51         |
| 3            | 14.01                          | 12.52         | 14.98         | 14.26         |
| 4            | 14.90                          | 16.48         | 13.97         | 13.15         |
| 5            | 14.37                          | 12.19         | 13.17         | 14.45         |
| 6            | 13.14                          | 15.65         | 11.81         | 13.17         |
| 7            | 14.37                          | 16.03         | 13.99         | 12.39         |
| 8            | 12.80                          | 12.86         | 16.83         | 12.51         |
| 9            | 13.18                          | 12.19         | 15.49         | 11.13         |
| 10           | 15.37                          | 15.28         | 16.29         | 12.20         |
| 11           | 13.22                          | 15.48         | 14.95         | 12.80         |
| 12           | 14.77                          | 14.28         | 13.77         | 12.76         |
| $\Sigma$     | <b>166.78</b>                  | <b>171.38</b> | <b>174.89</b> | <b>154.63</b> |
| <b>Prom.</b> | <b>13.90</b>                   | <b>14.28</b>  | <b>14.57</b>  | <b>12.89</b>  |

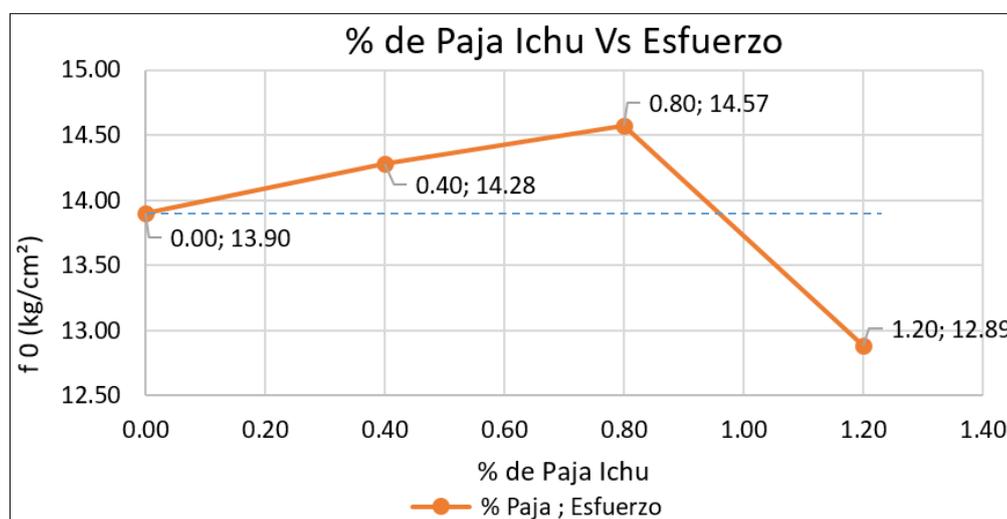


Figura 32: % de Paja ichu Vs. esfuerzo a la compresión de la unidad de adobe

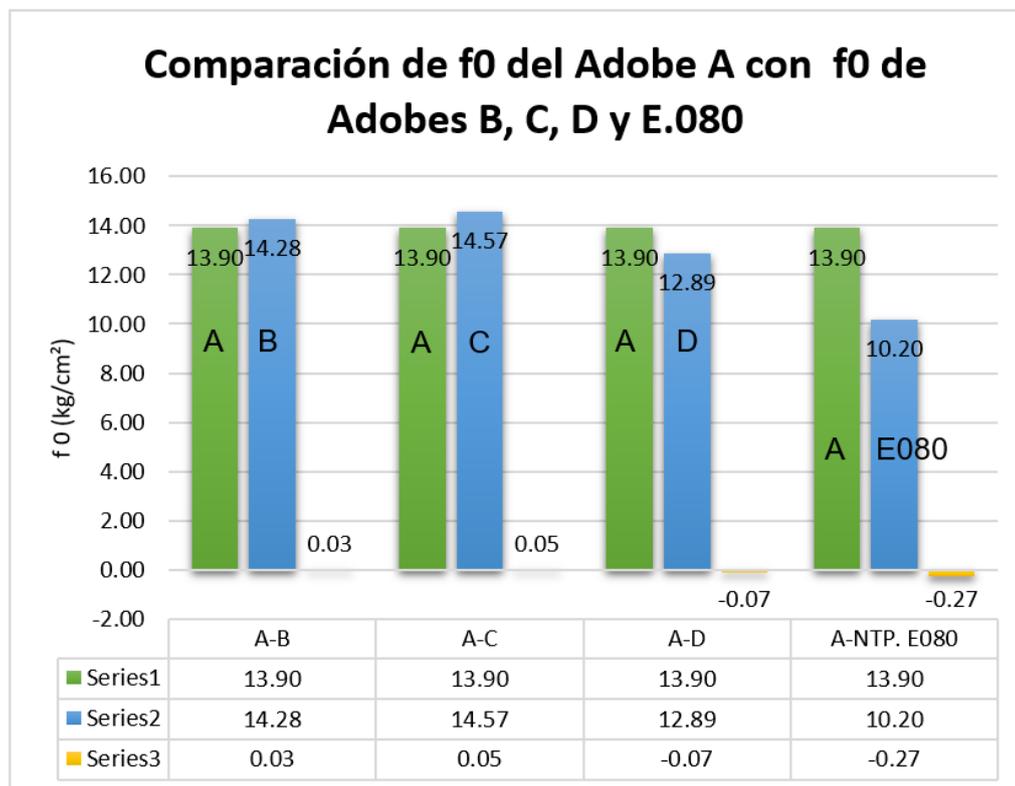


Figura 33: Comparación de los f<sub>0</sub> del adobe sin paja (A) con los f<sub>0</sub> de los adobes con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017

### 5.1.2. Determinación de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D)

Tabla 12: Resumen de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D)

| N°   | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|      | A                              | B            | C            | D            |
| 1    | 1.78                           | 1.70         | 1.99         | 1.89         |
| 2    | 1.89                           | 2.12         | 1.96         | 1.70         |
| 3    | 1.76                           | 2.00         | 1.99         | 1.57         |
| 4    | 2.00                           | 1.89         | 2.13         | 1.70         |
| 5    | 1.89                           | 2.14         | 2.26         | 1.93         |
| 6    | 1.60                           | 2.01         | 2.01         | 1.76         |
| Σ    | <b>10.92</b>                   | <b>11.85</b> | <b>12.34</b> | <b>10.55</b> |
| Prom | <b>1.82</b>                    | <b>1.98</b>  | <b>2.06</b>  | <b>1.76</b>  |

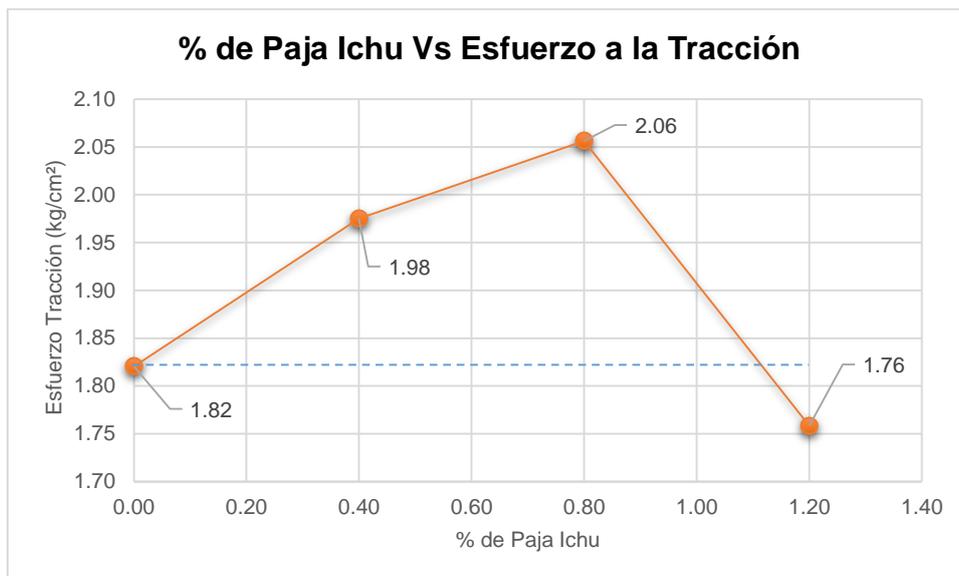


Figura 34: % de Paja Ichu Vs. esfuerzo a la tracción de adobe

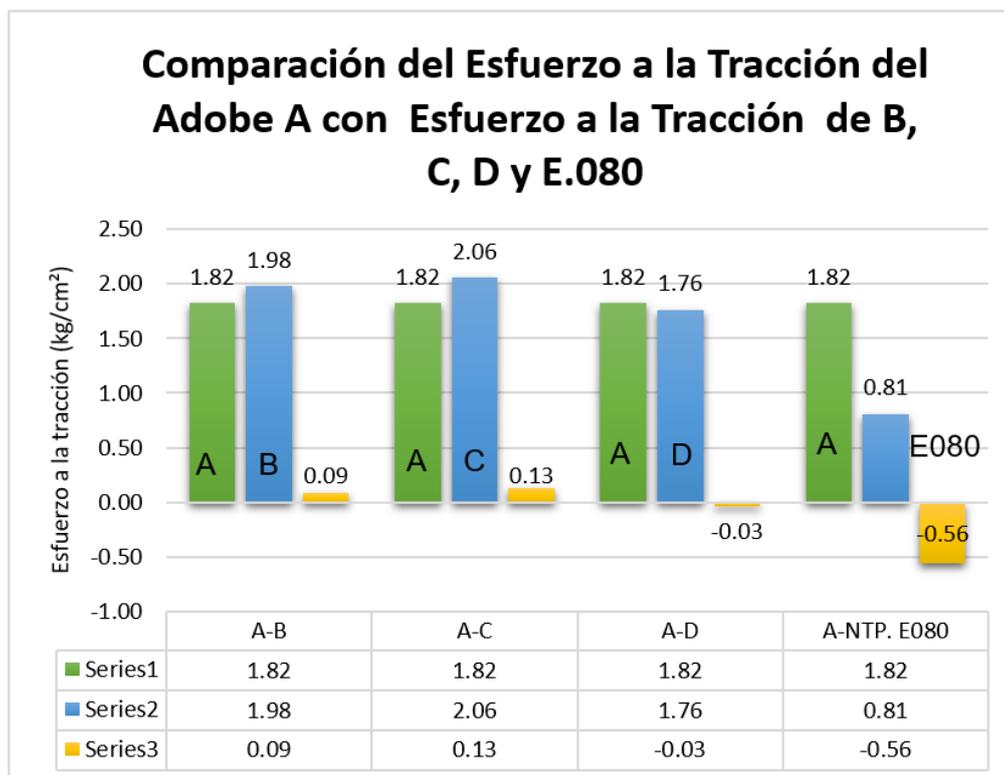


Figura 35: Comparación del esfuerzo a la tracción de adobe sin paja (A) con los esfuerzos a la tracción de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017.

### 5.1.3. Determinación de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D).

Tabla 13: Resumen de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D).

| N°          | Esfuerzo (kg-f/cm <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|-------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|             | A                                | B            | C            | D            |
| 1           | 3.48                             | 4.57         | 4.81         | 6.53         |
| 2           | 3.48                             | 3.56         | 5.01         | 5.63         |
| 3           | 3.57                             | 4.12         | 4.25         | 5.88         |
| 4           | 3.53                             | 4.18         | 4.43         | 5.37         |
| 5           | 3.93                             | 4.09         | 4.22         | 5.65         |
| 6           | 3.60                             | 4.00         | 4.29         | 5.16         |
| $\Sigma$    | <b>21.59</b>                     | <b>24.52</b> | <b>27.01</b> | <b>34.21</b> |
| <b>Prom</b> | <b>3.60</b>                      | <b>4.09</b>  | <b>4.50</b>  | <b>5.70</b>  |

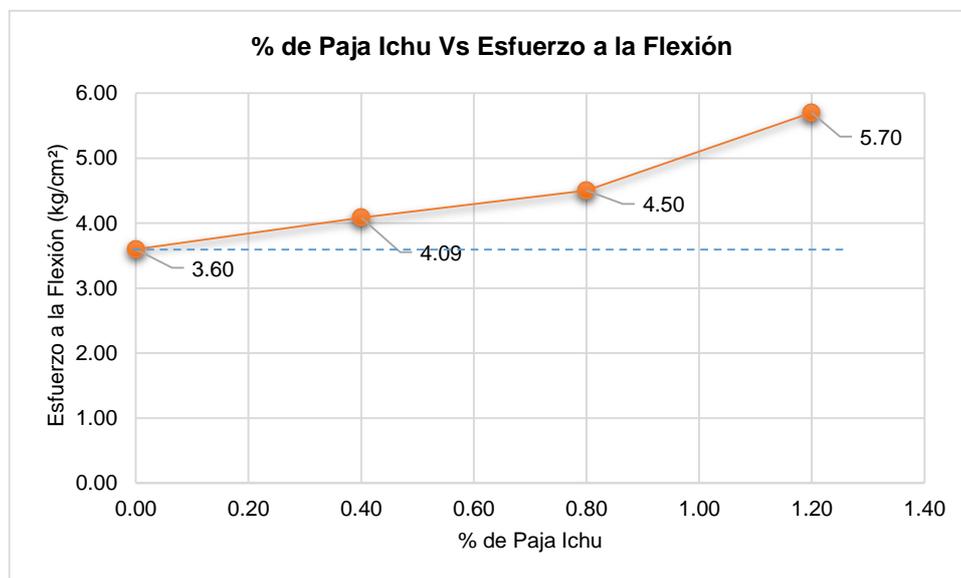


Figura 36: % de Paja Ichu VS Esfuerzo a la flexión del adobe

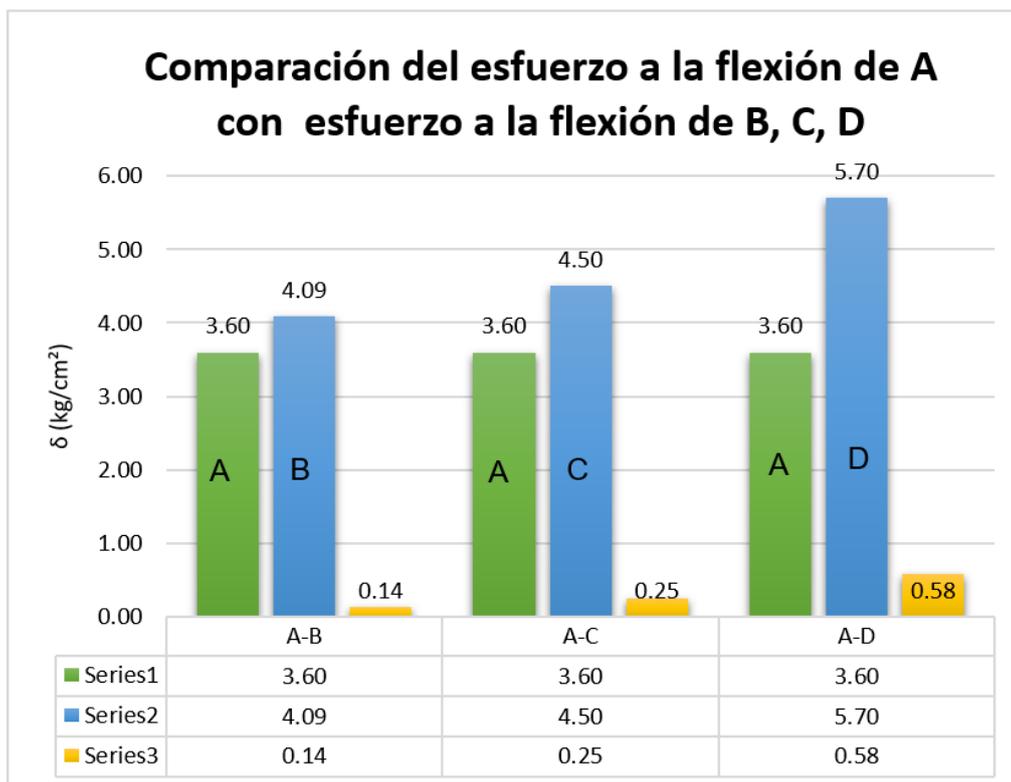


Figura 37: Comparación de resistencia a la flexión del adobe sin paja (A) con resistencia a la flexión de adobe con paja (B, C y D)

#### 5.1.4. Determinación de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D).

Tabla 14: Resumen de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D).

| N°          | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |             |             |             |
|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|             | A                              | B           | C           | D           |
| 1           | 0.30                           | 0.32        | 0.31        | 0.36        |
| 2           | 0.29                           | 0.37        | 0.40        | 0.45        |
| 3           | 0.26                           | 0.34        | 0.29        | 0.34        |
| 4           | 0.28                           | 0.31        | 0.43        | 0.40        |
| 5           | 0.28                           | 0.29        | 0.39        | 0.44        |
| 6           | 0.27                           | 0.40        | 0.37        | 0.47        |
| $\Sigma$    | <b>1.68</b>                    | <b>2.02</b> | <b>2.18</b> | <b>2.46</b> |
| <b>Prom</b> | <b>0.28</b>                    | <b>0.34</b> | <b>0.36</b> | <b>0.41</b> |

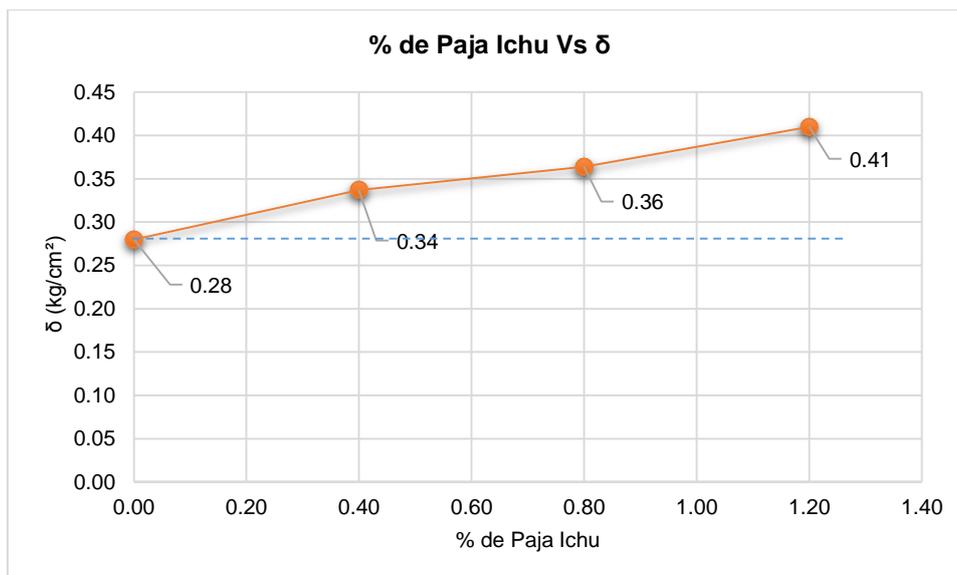


Figura 38: % de Paja Ichu Vs Esfuerzo del mortero a la tracción

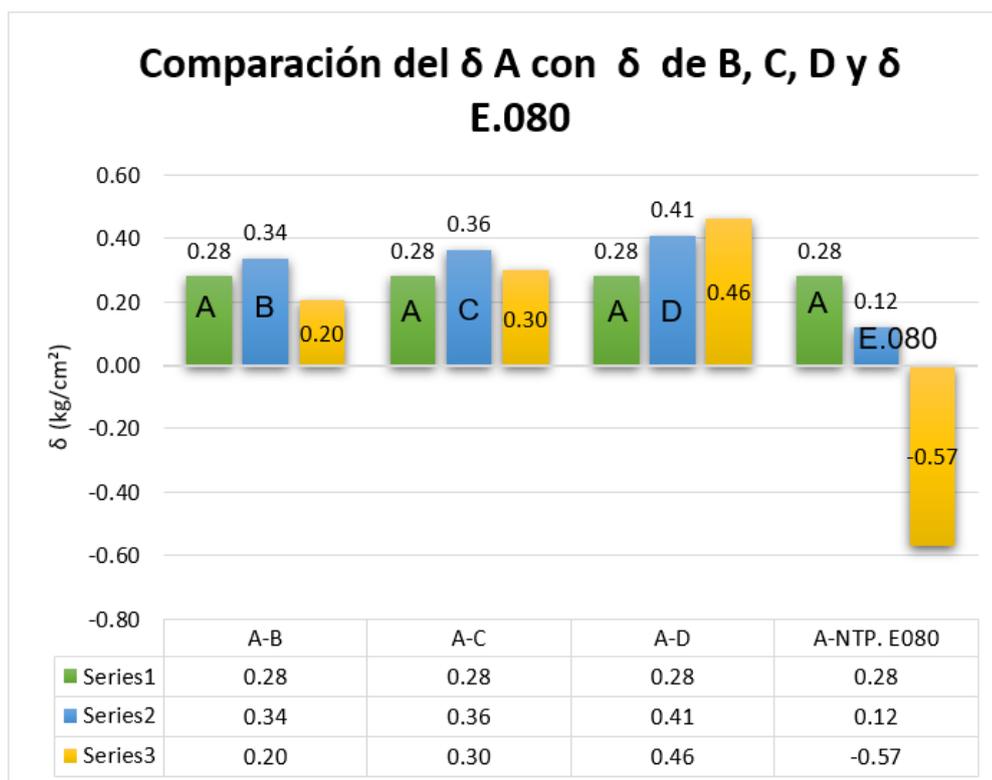


Figura 39: Comparación de resistencia del mortero a la tracción del adobe sin paja (A) con resistencia del mortero a la tracción de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017.

### 5.1.5. Determinación de la resistencia del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).

Tabla 15: Resumen de las resistencias del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).

| N°           | Esfuerzo $f'm$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|              | A                                    | B            | C            | D            |
| 1            | 8.86                                 | 9.15         | 11.60        | 9.44         |
| 2            | 7.95                                 | 9.17         | 9.55         | 10.39        |
| 3            | 7.70                                 | 8.57         | 8.90         | 9.29         |
| 4            | 8.86                                 | 8.03         | 10.70        | 9.39         |
| 5            | 9.05                                 | 8.53         | 11.08        | 9.57         |
| 6            | 8.99                                 | 8.93         | 10.55        | 8.50         |
| $\Sigma$     | <b>51.41</b>                         | <b>52.39</b> | <b>62.37</b> | <b>56.58</b> |
| <b>Prom.</b> | <b>8.57</b>                          | <b>8.73</b>  | <b>10.39</b> | <b>9.43</b>  |

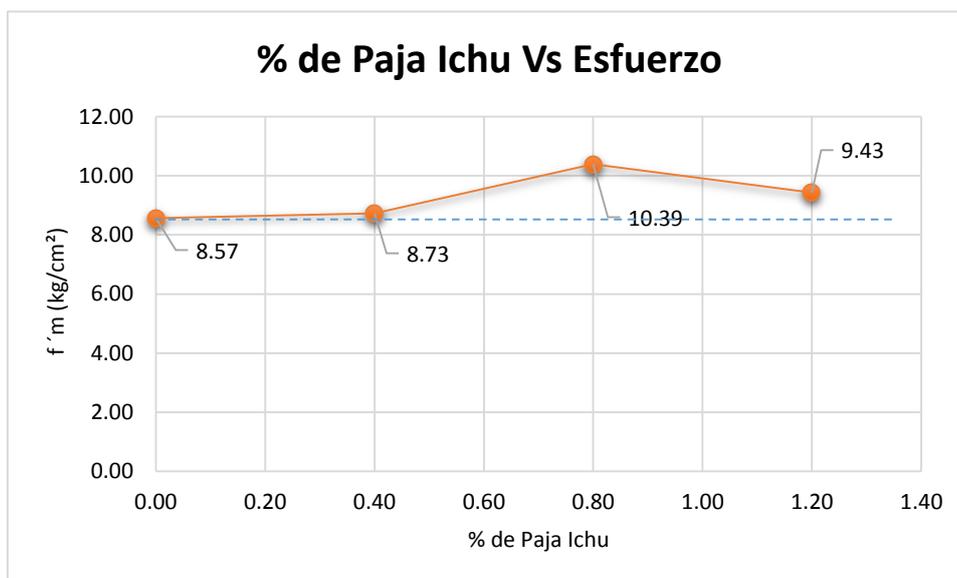


Figura 40: % de Paja Ichu Vs Esfuerzo a compresión del murete del adobe

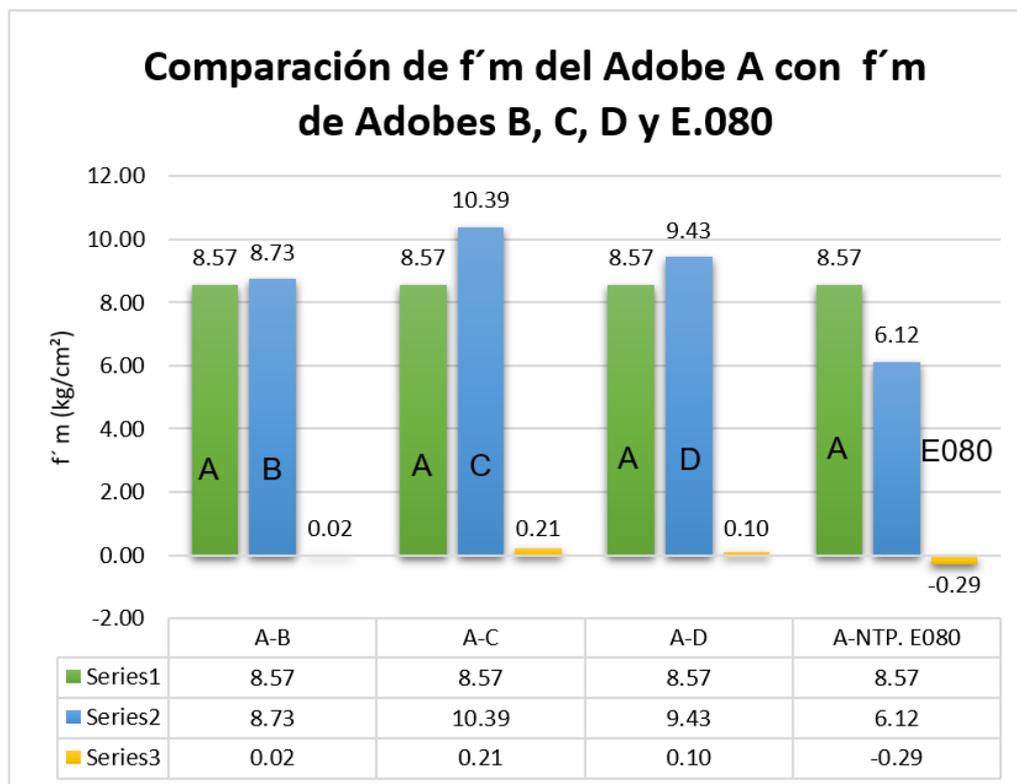


Figura 41: Comparación de los  $f'm$  del murete de adobe sin paja (A) con los  $f'm$  de los muretes de adobe con paja (B, C y D) y con el valor de la Norma E.080 del año 2017.

### 5.1.6. Trabajabilidad de la mezcla del adobe sin paja (A) y de la mezcla del adobe con paja (B, C, D).

La trabajabilidad de una mezcla de adobe convencional (tierra más paja más agua) se define como la facilidad con la que esta argamasa puede mezclarse, batirse, manejarse, transportarse y vaciarse en las adoberas y el desmolde manejable de la misma.

- **Trabajabilidad de la mezcla del adobe sin paja (A)**

La trabajabilidad de la mezcla del adobe sin paja (A) es óptima, puesto que la mezcla solo lo constituye tierra más agua, el batido de esta es fácil, el desmolde es muy manejable de los especímenes que tienen 0 % de paja ichu.



Figura 42: Mezcla del adobe sin paja (A)

- **Trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (B)**

La trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (B) es muy buena, la mezcla conformada por tierra más paja más agua presenta un batido fácil, el desmolde es manejable de los especímenes que tienen 0.40 % de paja ichu.



Figura 43: Mezcla del adobe con paja (B)

- **Trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (C)**

La trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (C) es buena, la mezcla conformada por tierra más paja más agua presenta un batido medianamente fácil puesto que se tiene que hacer hasta que el barro englobe en su totalidad a la paja que está distribuida homogéneamente en el volumen de la mezcla, el desmolde es medianamente manejable ya que con este contenido de paja la mezcla tiene adhesión a las paredes de la adobera de los especímenes que tienen 0.80 % de paja ichu.



Figura 44: Mezcla del adobe con paja (C)

- **Trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (D)**

La trabajabilidad de la mezcla del adobe con paja (D) es mala, la mezcla conformada por tierra más paja más agua presenta un batido difícil puesto que se tiene que hacer hasta que el barro englobe en su totalidad a la paja que está distribuida homogéneamente en el volumen de la mezcla, el desmolde es tedioso ya que con este contenido de paja la mezcla tiene una mayor adhesión a las paredes de la adobera de los especímenes que tienen 1.20 % de paja ichu.



Figura 45: Mezcla del adobe con paja (D)

## **5.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El objetivo principal de la investigación fue determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu en la resistencia mecánica del adobe en el distrito de Cajamarca. En este capítulo se realizó el análisis estadístico con el programa Minitab y el análisis, interpretación y discusión de resultados a través de figuras de los ensayos de los especímenes de adobe, que permitirán tener una perspectiva clara, concreta y adecuada los resultados obtenidos.

El análisis estadístico hecho para los resultados obtenidos de los ensayos de los especímenes del adobe corresponde a un diseño completamente al azar (DCA), para ello se tiene q cumplir las siguientes pautas:

- 1°. Verificar los supuestos:
  - a. Normalidad de los errores.
  - b. Homogeneidad de varianzas.
- 2°. Análisis de varianza.
- 3°. Comparaciones múltiples.

### **5.2.1. Análisis, interpretación y discusión de los resultados de las resistencias del adobe.**

#### **5.2.1.1. Análisis estadístico en Minitab de los resultados de las resistencias a la compresión del adobe.**

Pautas a verificar:

- 1°. Verificar los supuestos:**
  - a. Normalidad de los errores.**

Hipótesis:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

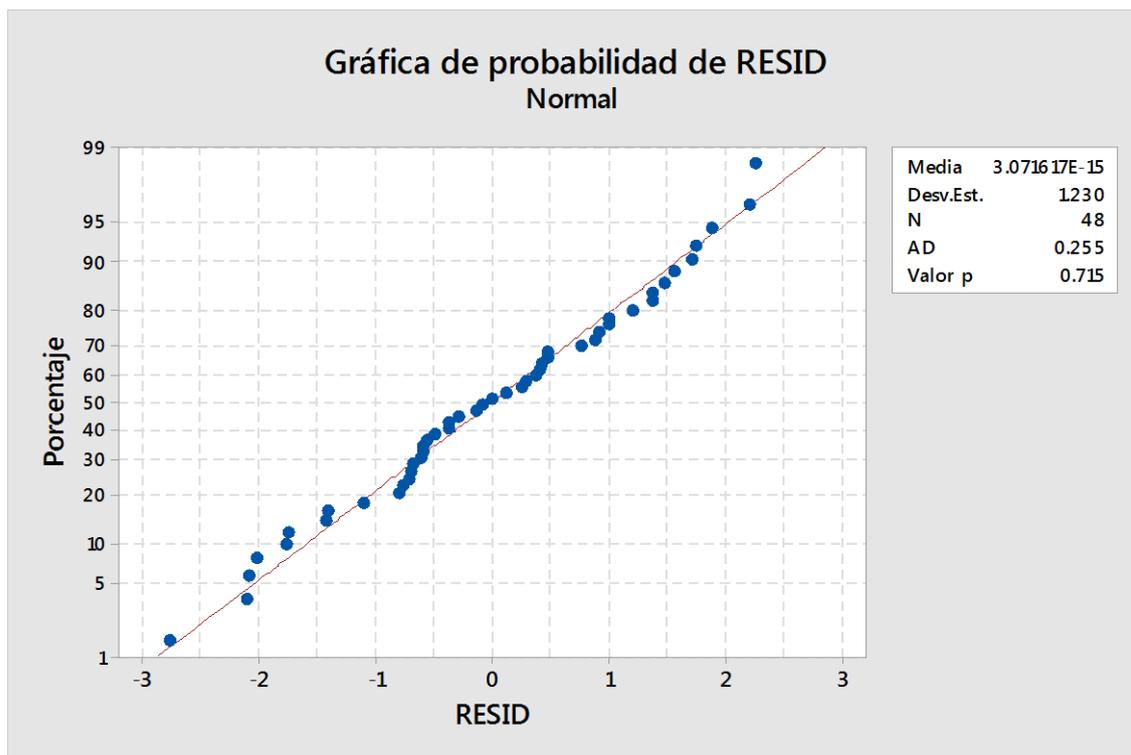


Figura 46: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo a la compresión del adobe.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$AD = 0.255$$

**P-valor:** 0.715

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.715 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

#### **b. Homogeneidad de varianzas.**

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente.

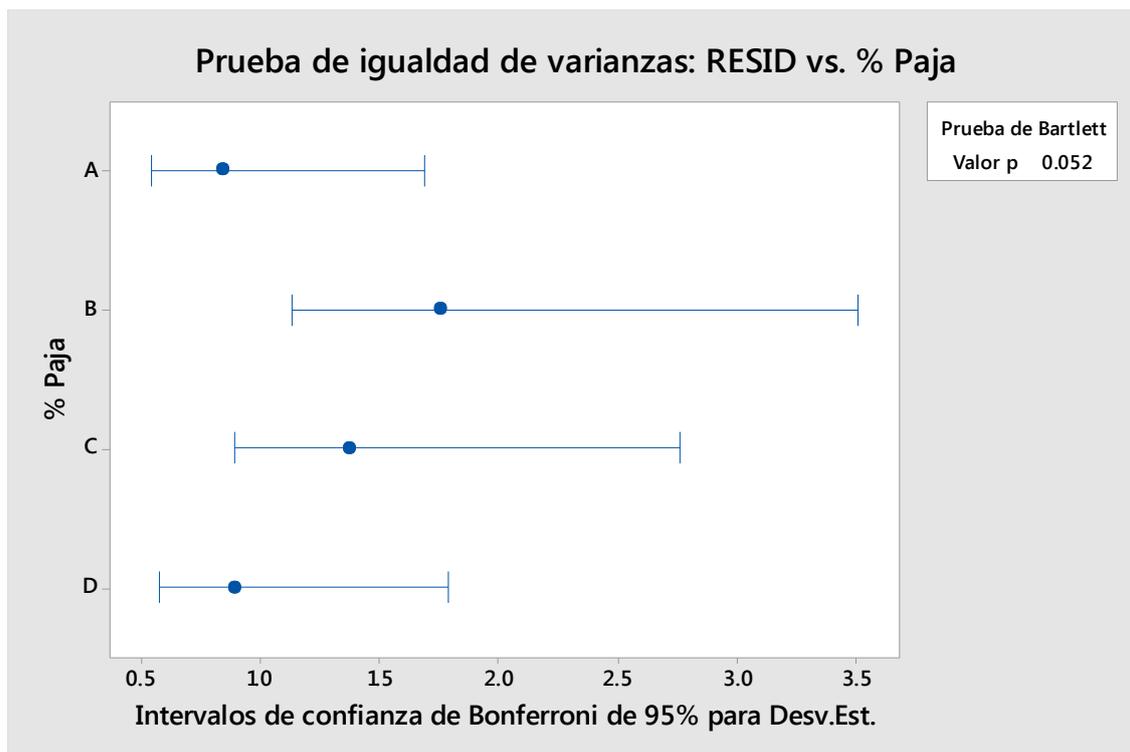


Figura 47: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a la compresión del adobe.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

Bartlett: 7.74

**P-valor:** 0.052

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.052 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## 2°. Análisis de varianza.

¿Al menos uno de los cuatro porcentajes de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento de la resistencia a la compresión del adobe que los otros tres?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4$  (no hay diferencias significativas en la incidencia de los cuatro porcentajes de paja ichu en el aumento de la resistencia a la compresión del adobe)

$H_1$ : Al menos una  $u_i$  es diferente a los demás (un porcentaje de paja ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia a compresión del adobe que los otros tres)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 4.03$$

**P-valor: 0.013**

**Decisión:** Como P valor es menor que  $\alpha$  ( $0.013 < 0.050$ ), entonces se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, al menos un porcentaje de ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia a la compresión del adobe que los tres porcentajes.

#### 4°. Comparaciones múltiples.

¿Qué porcentaje de paja ichu tiene más incidencia en el aumento de la resistencia a la compresión del adobe?

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

$$H_0: u_A = u_B$$

$$H_1: u_A \neq u_B$$

$$H_0: u_A = u_C$$

$$H_1: u_A \neq u_C$$

$$H_0: u_A = u_D$$

$$H_1: u_A \neq u_D$$

$$H_0: u_B = u_C$$

$$H_1: u_B \neq u_C$$

$$H_0: u_B = u_D$$

$$H_1: u_B \neq u_D$$

$$H_0: u_C = u_D$$

$$H_1: u_C \neq u_D$$

Nivel de significación:  
 $\alpha = 0.05$

Tabla 16: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a compresión del adobe.

| % Paja | N  | Media   | Agrupación |          |
|--------|----|---------|------------|----------|
| C      | 12 | 14.5739 | <b>A</b>   |          |
| B      | 12 | 14.2819 | <b>A</b>   |          |
| A      | 12 | 13.8981 | <b>A</b>   | <b>B</b> |
| D      | 12 | 12.8855 |            | <b>B</b> |

\*Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Análisis:** De la tabla 14 se aprecia que las medias de los resultados de la resistencia a compresión del adobe C, B y A, así como las medias de los resultados de la resistencia a compresión del adobe A y D comparten una misma letra, esto quiere decir que estadísticamente estos conjuntos de medias son similares.

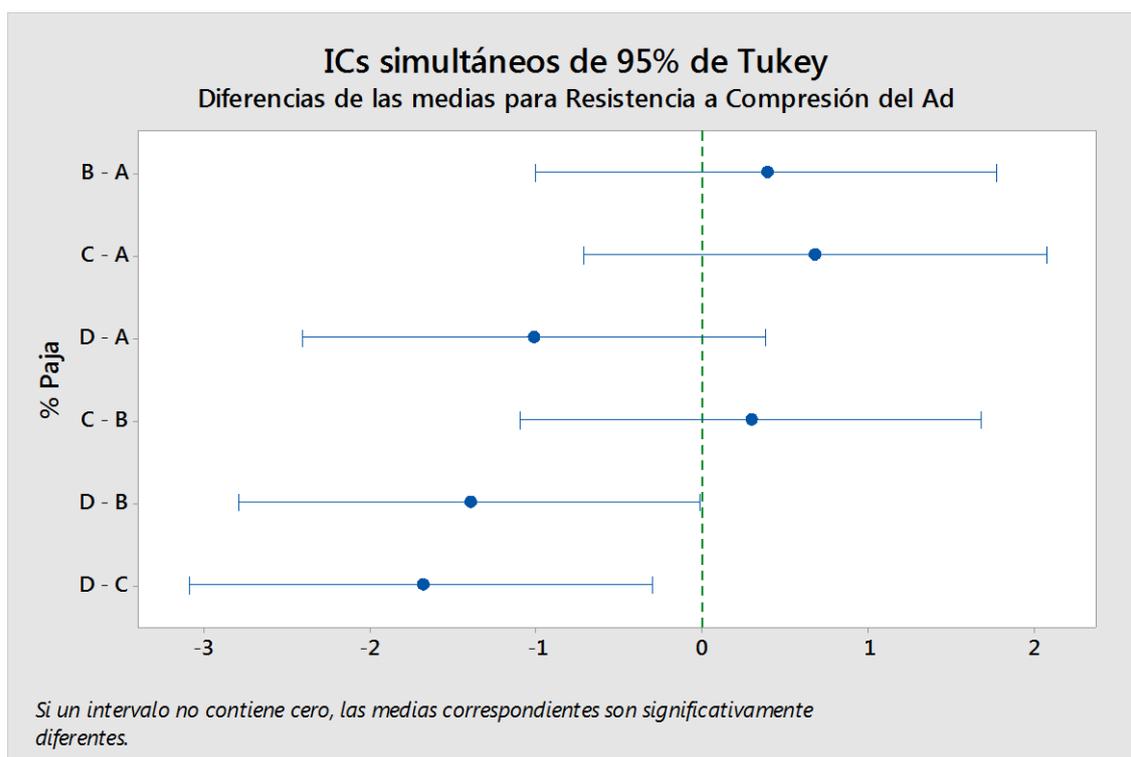


Figura 48: Diferencias de las medias para resistencia a compresión del adobe.

**Análisis:** Se aprecia que las medias del par D y B y del par D y C son significativamente diferentes, puesto que el intervalo de estas no contiene cero. El adobe tipo D tiene un porcentaje de paja de 1.20 %, la trabajabilidad para este tipo de adobe es mala.

**CONCLUSIÓN:** A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.80 % de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento en la resistencia a la compresión del adobe (tipo C) porque tiene mayor promedio (14.57).

### 5.2.1.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia a la compresión de adobe sin paja (A) y la del adobe con paja (B, C, D).

El objetivo específico fue determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia mecánica a la compresión del adobe en el distrito de Cajamarca, a continuación, se presentan figuras de los ensayos a la compresión del adobe, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada los resultados obtenidos.



Figura 49: Cubo de adobe tipo A, durante el ensayo a compresión.



Figura 50: Cubo de adobe tipo B, durante el ensayo a compresión.



Figura 51: Cubo de adobe tipo C, durante el ensayo a compresión.



Figura 52: Cubo de adobe tipo D, durante el ensayo a compresión.

**Análisis:** En las figuras inmediatamente superiores se observan a los cubos de adobe durante el ensayo, en los cuatro tipos (A, B, C y D) se presentan fallas del modo

frágil, estas son típicas en los ensayos a la compresión de la unidad, estas fisuras son paralelas a el eje de aplicación de carga.

### **Análisis e interpretación y discusión de resultados:**

Se aprecia en la figura 32 que la resistencia a compresión del adobe aumenta con la adición de paja ichu hasta el porcentaje de 0.80 % (adobe tipo C), con la adición de paja de 1.20 %, donde la trabajabilidad de la mezcla (tierra más paja más agua) es mala, se nota un decremento de la resistencia a la compresión.

En la figura 33 se compara las resistencias a compresión de la unidad de adobe sin paja, tipo “A”, con los adobes con paja, tipo B (0.40%), C (0.80%) y D (1.20%), y con el valor de la Norma E.080-2017. Se observa que la adición de paja mejora la resistencia a compresión de la unidad hasta el porcentaje de 0.80 %, posteriormente se nota un decremento con el porcentaje de 1.20 %. El adobe sin paja tiene una  $f_0$  promedio de 13.90 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las unidades de adobe con paja tienen un  $f_0$  de 14.28 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo B), 14.57 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo C) y 12.89 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo D). El adobe sin paja resiste 3 %, 5% menos que el adobe con paja, y 27 % más que el valor de la Norma E.080-2017 (10.20 Kg/cm<sup>2</sup>). El adobe sin paja resiste 7% más que el adobe con paja tipo D (La trabajabilidad de la mezcla es mala).

### **5.2.2. Análisis, interpretación y discusión de los resultados la resistencia del adobe a la tracción.**

#### **5.2.2.1. Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del adobe a la tracción.**

Pautas a verificar:

#### **1°. Verificar los supuestos:**

##### **a. Normalidad de los errores.**

Hipótesis:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

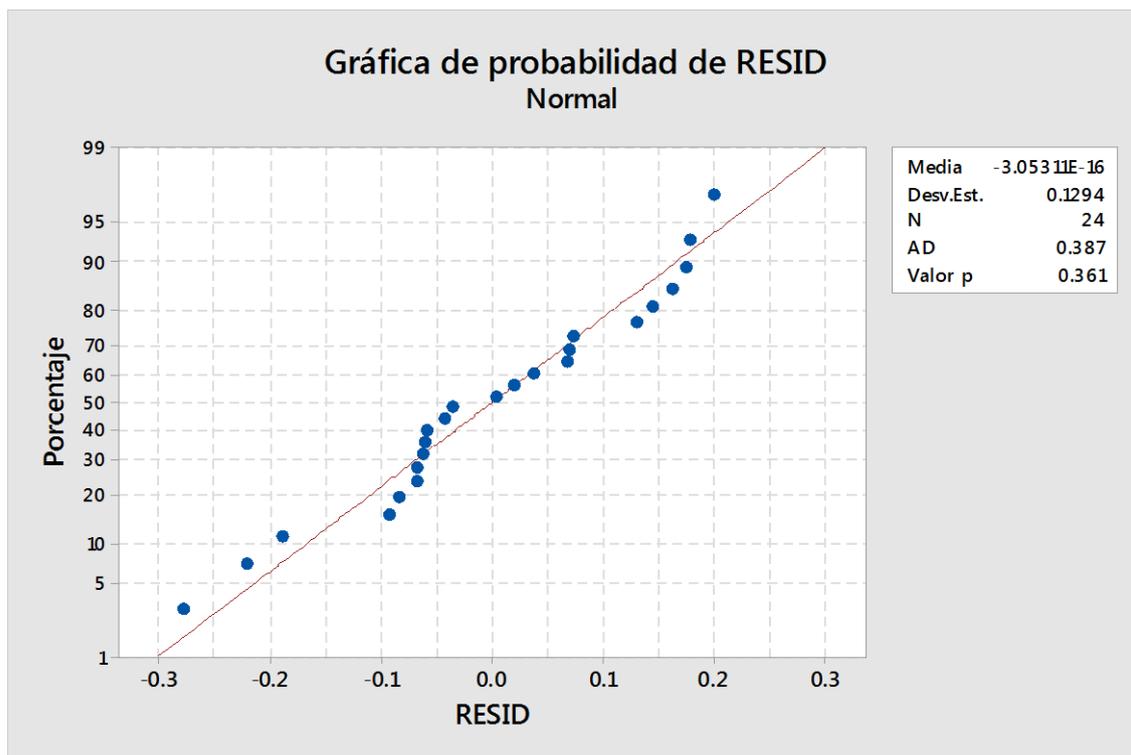


Figura 53: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del adobe a la tracción.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$AD = 0.387$$

**P-valor:** 0.361

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.361 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

#### **b. Homogeneidad de varianzas.**

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente.

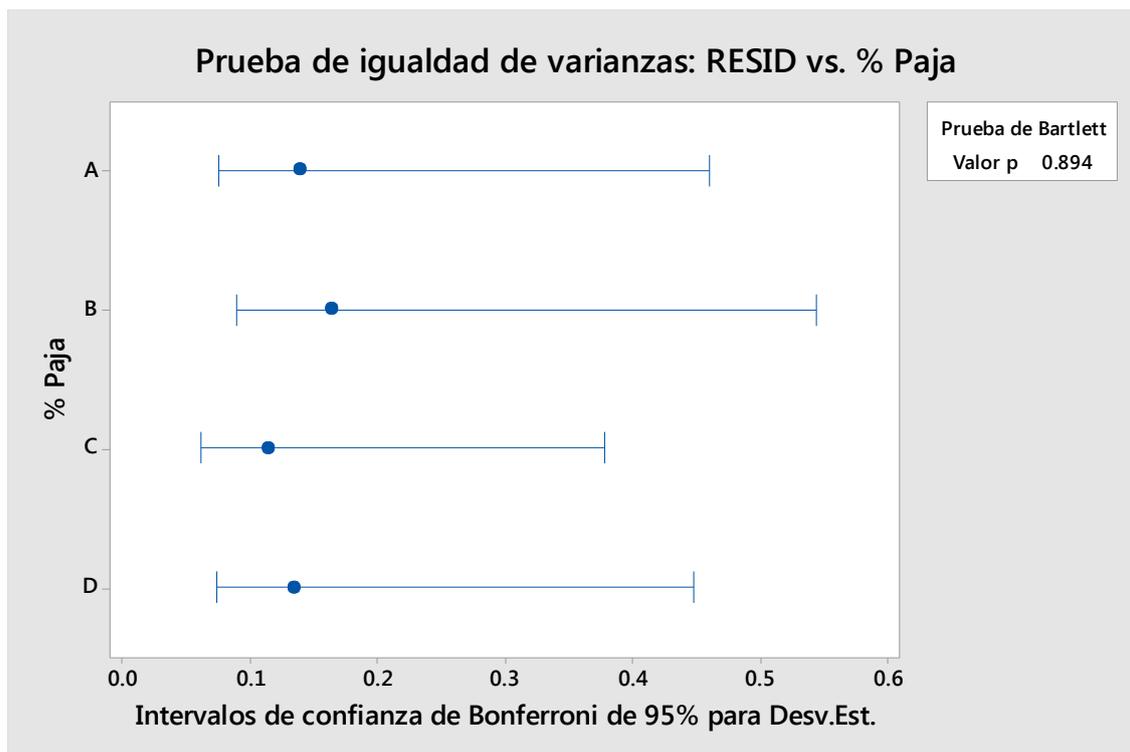


Figura 54: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del adobe a la tracción.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

Bartlett: 0.61

**P-valor:** 0.894

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.894 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## 2°. Análisis de varianza.

¿Al menos uno de los cuatro porcentajes de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento de la resistencia mecánica del adobe a la tracción que los otros tres?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4$  (no hay diferencias significativas en la incidencia de los cuatro porcentajes de paja ichu en el aumento de resistencia mecánica del adobe a la tracción).

$H_1$ : Al menos una  $u_i$  es diferente a los demás (un porcentaje de paja ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia mecánica del adobe a la tracción que los otros tres).

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 5.86$$

**P-valor: 0.005**

**Decisión:** Como P valor es menor que  $\alpha$  ( $0.005 < 0.050$ ), entonces se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, al menos un porcentaje de ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia mecánica del adobe a la tracción que los otros tres porcentajes.

### 3°. Comparaciones múltiples.

¿Qué porcentaje de paja ichu tiene más incidencia en el aumento de la resistencia mecánica del adobe a la tracción?

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

$$H_0: u_A = u_B$$

$$H_1: u_A \neq u_B$$

$$H_0: u_A = u_C$$

$$H_1: u_A \neq u_C$$

$$H_0: u_A = u_D$$

$$H_1: u_A \neq u_D$$

$$H_0: u_B = u_C$$

$$H_1: u_B \neq u_C$$

$$H_0: u_B = u_D$$

$$H_1: u_B \neq u_D$$

$$H_0: u_C = u_D$$

$$H_1: u_C \neq u_D$$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 17: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia mecánica del adobe a la tracción.

| % Paja | N | Media   | Agrupación |   |
|--------|---|---------|------------|---|
| C      | 6 | 2.05624 | A          |   |
| B      | 6 | 1.97519 | A          | B |
| A      | 6 | 1.82045 |            | B |
| D      | 6 | 1.75852 |            | B |

\*Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Análisis:** Las medias de los resultados de la resistencia mecánica del adobe a la tracción C y B, así como las medias de los resultados de la resistencia mecánica del adobe a la tracción D, B y A comparten una misma letra, esto quiere decir que estadísticamente estos conjuntos de medias son similares.

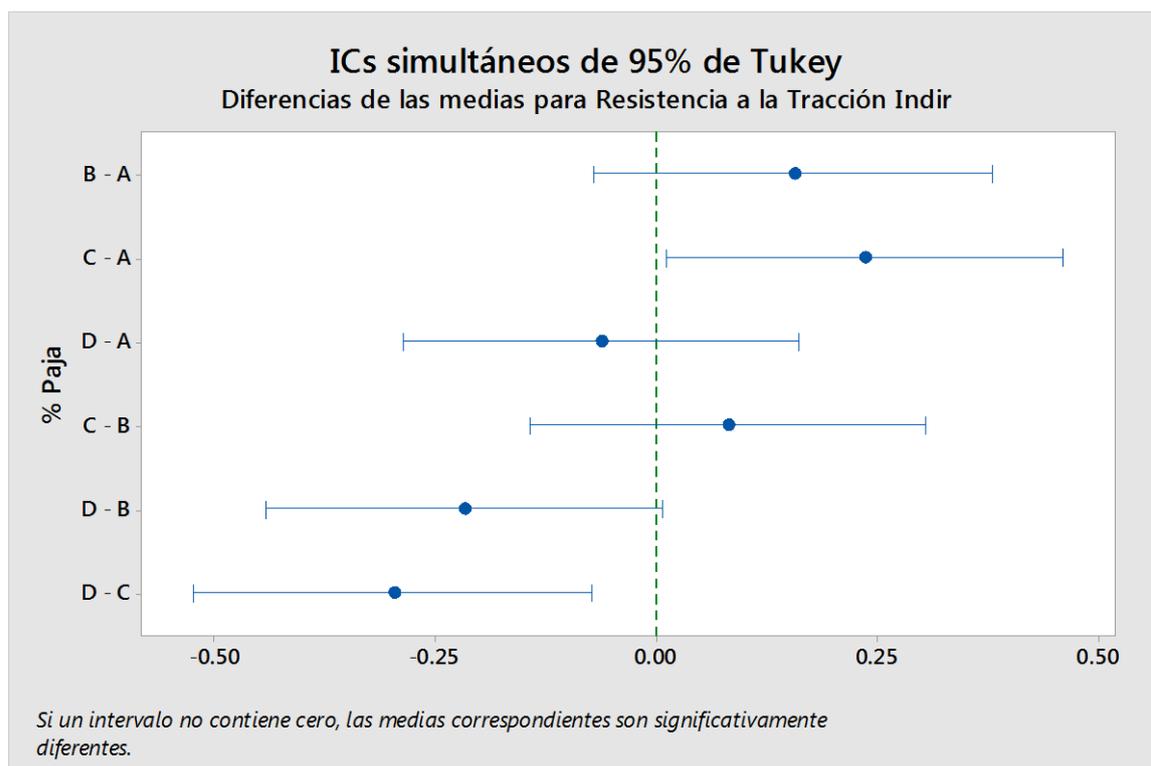


Figura 55: Diferencias de las medias para la resistencia mecánica del adobe a la tracción.

**Análisis:** Se aprecia que las medias del par D y C son significativamente diferentes, puesto que el intervalo de estas no contiene cero. El adobe tipo D tiene un porcentaje de paja de 1.20 %, la trabajabilidad para este tipo de adobe es mala.

**CONCLUSIÓN:** A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.80 % de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento en la resistencia d resistencia mecánica del adobe a la tracción (tipo C) porque tiene mayor promedio (2.06).

#### 5.2.2.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D).

El objetivo específico de la investigación es determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia mecánica del adobe a la tracción (ensayo brasileño de tracción) del adobe en el distrito Cajamarca., a continuación, se presentan gráficos de los ensayos del adobe a la tracción, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada los resultados obtenidos.



Figura 56: Ensayo a la tracción del adobe (tipo A).



Figura 57: Ensayo a la tracción del adobe (tipo B).



Figura 58: Ensayo a la tracción del adobe (tipo C).



Figura 59: Ensayo a la tracción del adobe (tipo D).



Figura 60: Estado del espécimen de adobe tipo A, después del ensayo a tracción.



Figura 61: Estado del espécimen de adobe tipo B, C y D después del ensayo a tracción.

**Análisis:** En las figuras inmediatamente superiores se observan los ensayos a tracción del adobe, en los cuatro tipos (A, B, C y D) se presentan fallas del modo frágil, estas son típicas en los ensayos a tracción indirecta, estas fisuras se presentan en el diámetro de la probeta, paralelas al eje de la aplicación de carga. Una característica peculiar de los especímenes de adobes sin paja es que estos se parten simétricamente en dos por la mitad, no sucede esto con los especímenes que tienen paja ichu, al fallar estos aún quedan unidos porque la paja restringe la separación total, esto se debe a la adherencia que hay entre las partículas de la tierra con la paja ichu, contrarrestando los esfuerzos traccionantes generados en la probeta cilíndrica.

#### **Análisis e interpretación y discusión de resultados:**

Se aprecia en la figura 34 que la resistencia a la tracción del adobe aumenta con la adición de paja ichu hasta el porcentaje de 0.80 % (adobe tipo C), con la adición de paja de 1.20 %, donde la mezcla (tierra más paja más agua) pierde trabajabilidad se nota un decremento de la resistencia a la tracción del adobe.

En la figura 35 se compara las resistencias a la tracción del adobe sin paja, tipo “A”, con las resistencias a la tracción del adobe con paja, tipo B (0.40%), C (0.80%) y D (1.20%), y con el valor de la Norma E.080-2017. Se observa que la adición de paja mejora la resistencia a la tracción del adobe hasta el porcentaje de 0.80 %, posteriormente se nota un decremento con el porcentaje de 1.20 %. El adobe sin paja tiene un esfuerzo a la tracción promedio de  $1.82 \text{ Kg/cm}^2$ , mientras que los adobes con paja tienen un esfuerzo a la tracción de  $1.98 \text{ Kg/cm}^2$  (tipo B),  $2.06 \text{ Kg/cm}^2$  (tipo C) y  $1.76 \text{ Kg/cm}^2$  (tipo D). El adobe sin paja resiste 9

% y 13 % menos que el adobe con paja (tipo B y C), 3 % más que el adobe con paja tipo D, y 56 % más que el valor de la Norma E.080-2017 ( $0.81 \text{ Kg/cm}^2$ ).

### 5.2.3. Análisis, interpretación y discusión de los resultados resistencia a flexión del adobe.

#### 5.2.3.1. Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia a flexión del adobe.

Pautas a verificar:

#### 1°. Verificar los supuestos:

##### a. Normalidad de los errores.

Hipótesis:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

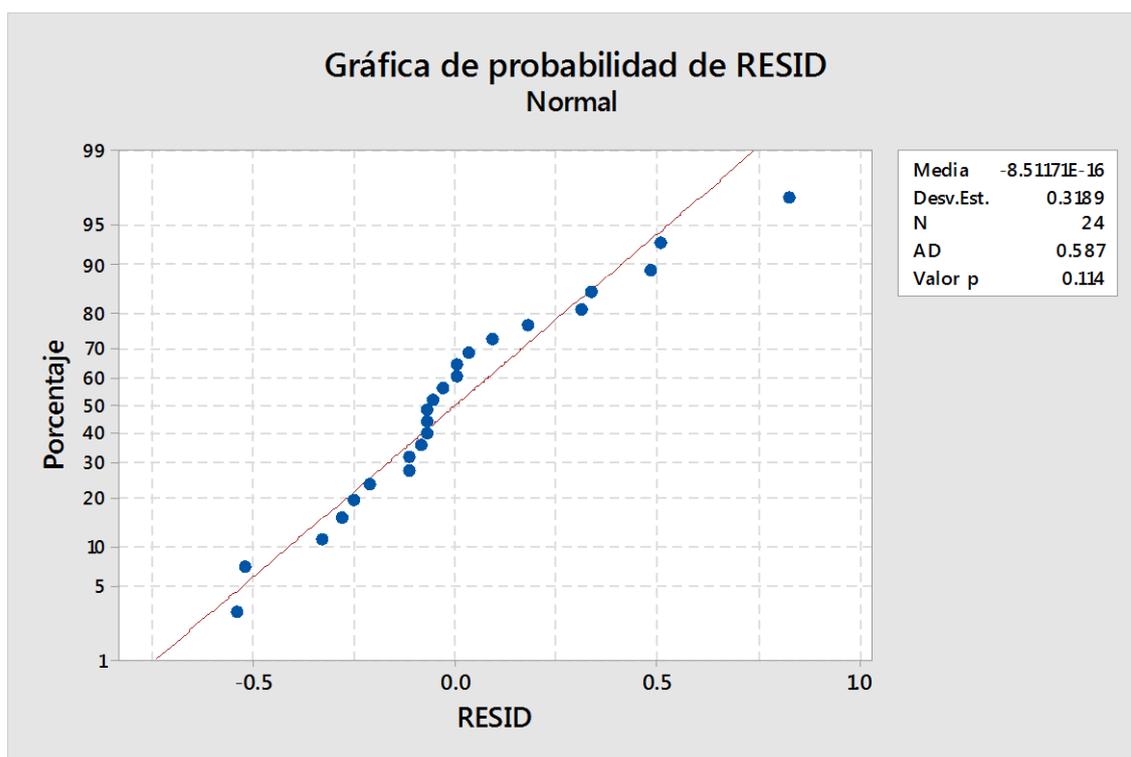


Figura 62: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia a flexión del adobe.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$AD = 0.587$$

**P-valor:** 0.114

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.114 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

### b. Homogeneidad de varianzas.

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente.

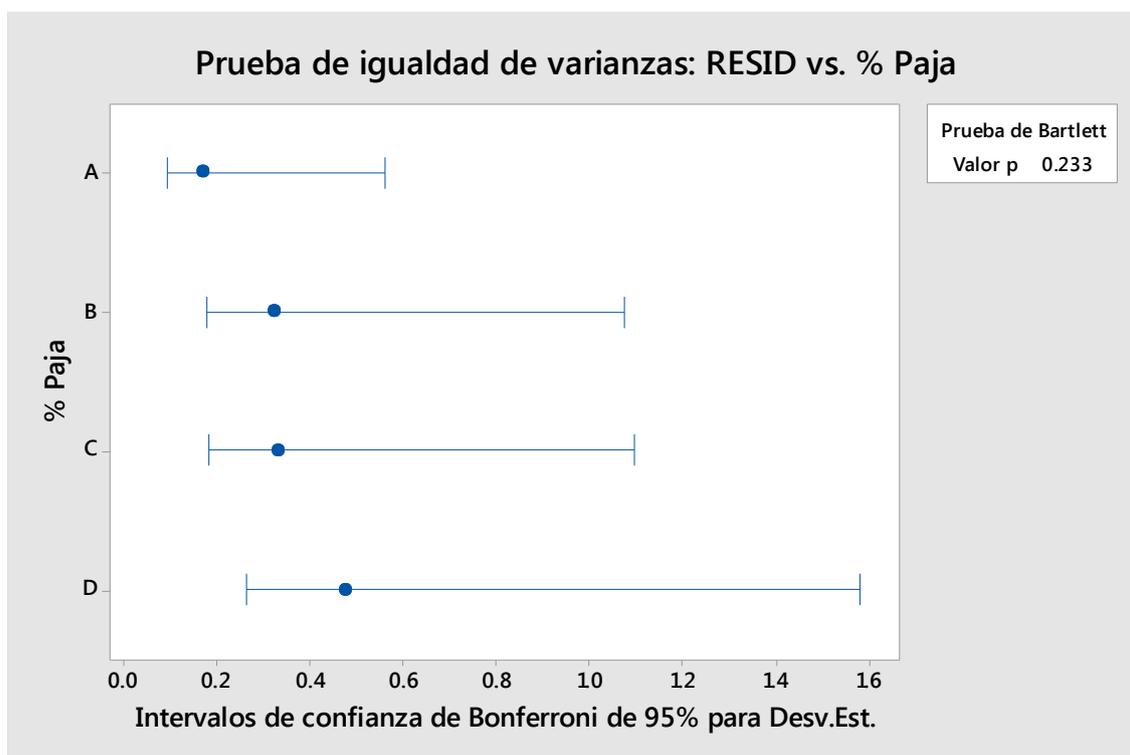


Figura 63: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados de la resistencia a flexión del adobe.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

Bartlett: 4.28

**P-valor:** 0.233

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.233 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## 2°. Análisis de varianza.

¿Al menos uno de los cuatro porcentajes de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento de la de la resistencia a flexión del adobe que los otros tres?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4$  (no hay diferencias significativas en la incidencia de los cuatro porcentajes de paja ichu en el aumento de resistencia a flexión del adobe).

$H_1$ : Al menos una  $u_i$  es diferente a los demás (un porcentaje de paja ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia a flexión del adobe que los otros tres).

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.0004$$

Estadístico de prueba:

$$F = 41.46$$

**P-valor: 0.0004**

**Decisión:** Como P valor es menor que  $\alpha$  ( $0.0004 < 0.050$ ), entonces se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, al menos un porcentaje de ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia a flexión del adobe que los otros tres porcentajes.

### 3°. Comparaciones múltiples.

¿Qué porcentaje de paja ichu tiene más incidencia en el aumento de la resistencia a flexión del adobe?

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

$$H_0: u_A = u_B$$

$$H_1: u_A \neq u_B$$

$$H_0: u_A = u_C$$

$$H_1: u_A \neq u_C$$

$$H_0: u_A = u_D$$

$$H_1: u_A \neq u_D$$

$$H_0: u_B = u_C$$

$$H_1: u_B \neq u_C$$

$$H_0: u_B = u_D$$

$$H_1: u_B \neq u_D$$

$$H_0: u_C = u_D$$

$$H_1: u_C \neq u_D$$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 18: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia a flexión del adobe.

| % Paja | N | Media   | Agrupación |          |          |
|--------|---|---------|------------|----------|----------|
| D      | 6 | 5.70163 | <b>A</b>   |          |          |
| C      | 6 | 4.50201 |            | <b>B</b> |          |
| B      | 6 | 4.08618 |            | <b>B</b> | <b>C</b> |
| A      | 6 | 3.59914 |            |          | <b>C</b> |

\*Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Análisis:** Las medias de los resultados de la resistencia a flexión del adobe C y B, y las medias B y A, comparten una misma letra, esto quiere decir que estadísticamente estos conjuntos de medias son similares. La media de la resistencia a flexión del adobe D solo tiene una letra, esta es significativamente diferente a las demás medias.

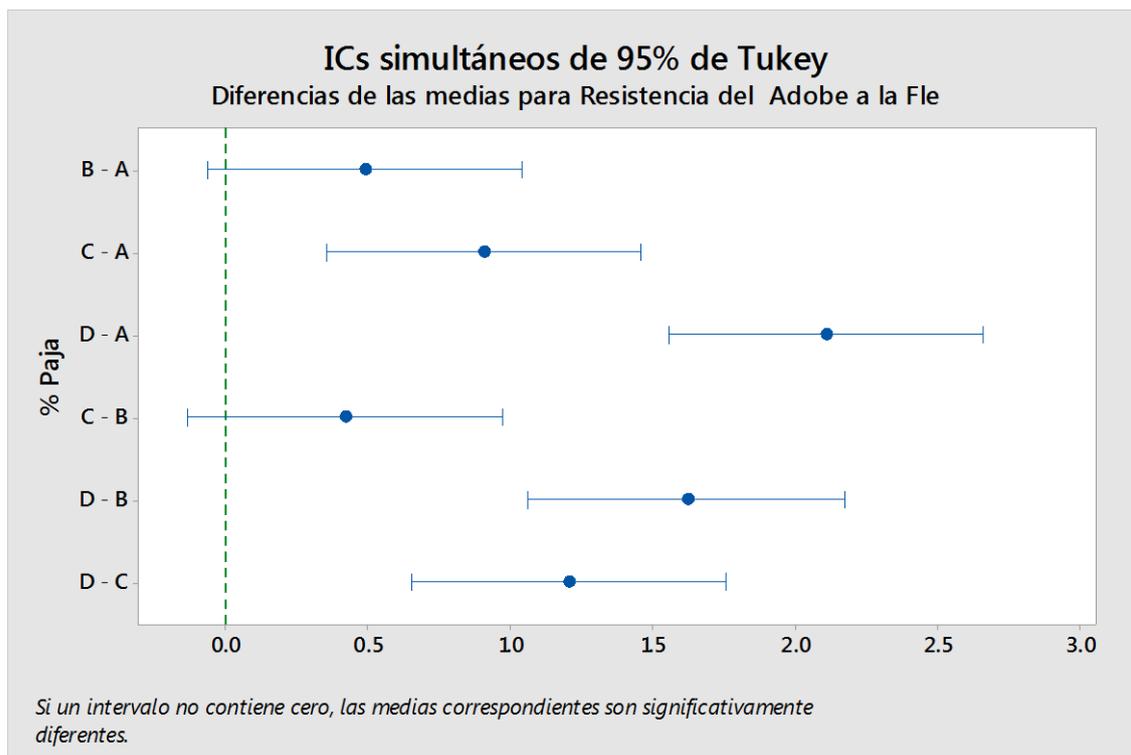


Figura 64: Diferencias de las medias para la resistencia a flexión del adobe.

**Análisis:** Se aprecia que las medias del par C y A, del par D y A (la más distante), del par D-B y del par D-C son significativamente diferentes, puesto que el intervalo de estas no contiene cero.

**CONCLUSIÓN:** A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 1.20 % de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento en resistencia a flexión del adobe (tipo D) porque tiene mayor promedio (5.70).

### 5.2.3.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D).

El objetivo específico de la investigación es determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia mecánica a flexión del adobe en el distrito de Cajamarca, a continuación, se presentan gráficos de los ensayos a flexión del adobe, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada los resultados obtenidos.



Figura 65: Ensayo del adobe a la flexión (tipo A).



Figura 66: Ensayo del adobe a la flexión (tipo B).



Figura 67: Ensayo del adobe a la flexión (tipo C).



Figura 68: Ensayo del adobe a la flexión (tipo D).



Figura 69: Estado del espécimen después del ensayo a la flexión (tipo B y C).



Figura 70: Estado del espécimen después del ensayo a la flexión (tipo D).

**Análisis:** En las figuras inmediatamente superiores se observan los ensayos a la flexión del adobe tipos A, B, C y D. Una característica peculiar de los especímenes de adobe sin paja es que al presentarse la falla frágil se produce inmediatamente la rotura del espécimen en ensayo, tal como se adjunta en la primera figura; en los especímenes de adobe con paja al presentarse la falla frágil esta va creciendo ascendentemente hasta presentarse la rotura total de los especímenes más no la separación total de estos, vistos en las posteriores figuras, la adhesión de la paja ichu a la tierra contrarresta parcialmente los esfuerzo flexionantes producidos. La fractura de los especímenes sin paja y con paja se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre del adobe de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana 2554 del año 2011.

### **Análisis e interpretación y discusión de resultados:**

Se aprecia en la figura 36 que la resistencia a la flexión del adobe aumenta con la adición de paja ichu hasta el porcentaje de 1.20 % (tipo D).

En la figura 37 se compara resistencia a la flexión de adobe sin paja, tipo “A”, con la resistencia a la flexión de adobes con paja, tipo B (0.40%), C (0.80%) y D (1.20%). Se observa que la adición de paja mejora la resistencia a la flexión hasta el porcentaje de 1.20 %. El adobe sin paja tiene una resistencia a la flexión promedio de 3.60 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las resistencias a la flexión del adobe con paja tienen de 4.09 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo B), 4.50 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo C) y 5.70 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo D). El esfuerzo de flexión del adobe sin paja resiste 14 %, 25 % y 58 % menos que el adobe con paja.

#### **5.2.4. Análisis, interpretación y discusión de los resultados resistencia del mortero a la tracción.**

##### **5.2.4.1. Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del mortero a la tracción.**

Pautas a verificar:

#### **1°. Verificar los supuestos:**

##### **a. Normalidad de los errores.**

Hipótesis:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

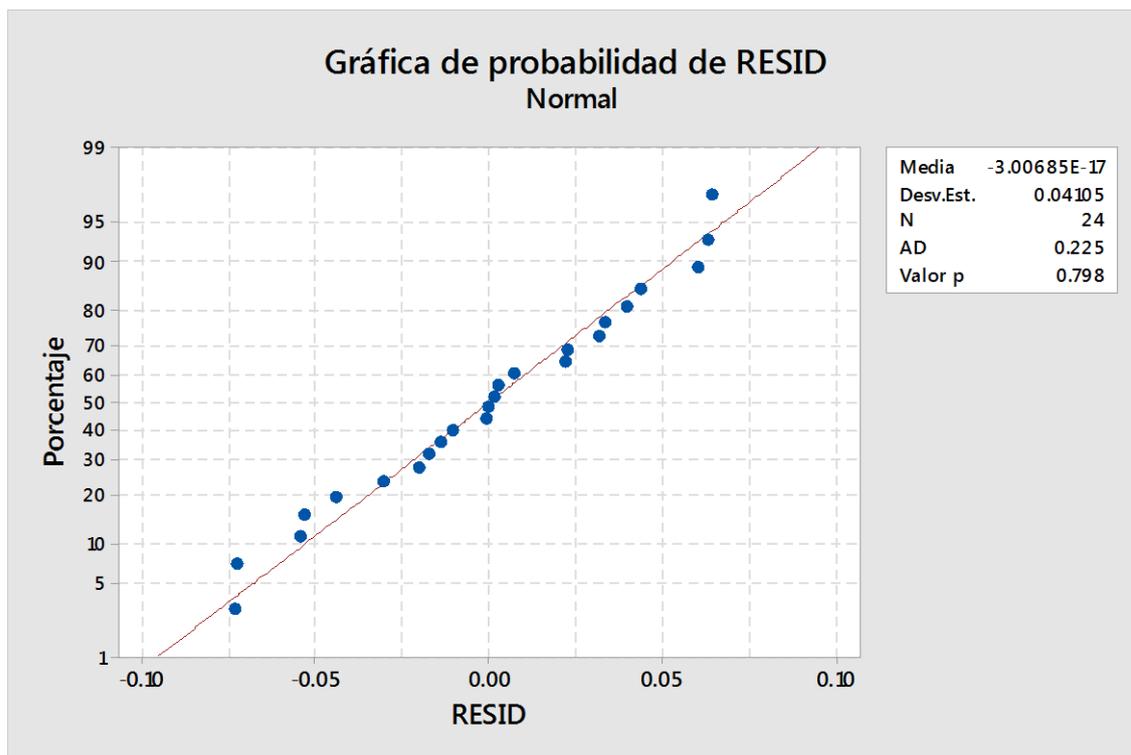


Figura 71: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del mortero a la tracción.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$AD = 0.225$$

**P-valor:** 0.798

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.798 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

#### **b. Homogeneidad de varianzas.**

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente.

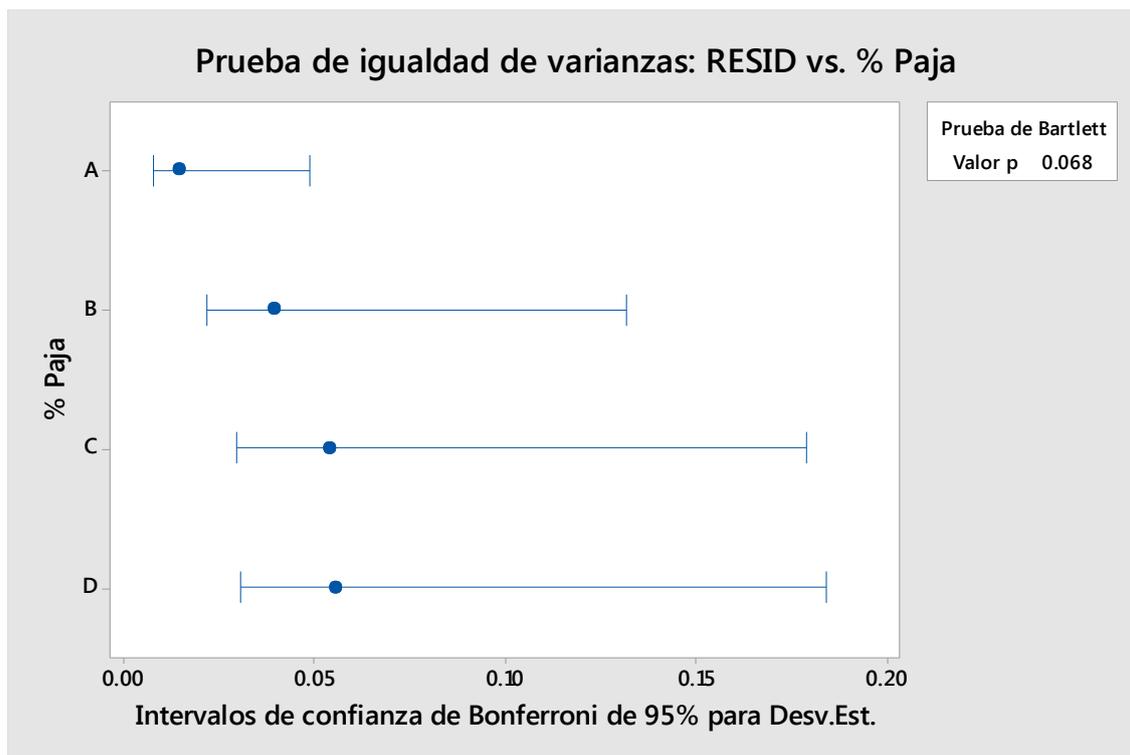


Figura 72: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados resistencia del mortero a la tracción.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

Bartlett: 7.12

**P-valor:** 0.068

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.068 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## 2°. Análisis de varianza.

¿Al menos uno de los cuatro porcentajes de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento de la resistencia del mortero a la tracción que los otros tres?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4$  (no hay diferencias significativas en la incidencia de los cuatro porcentajes de paja ichu en el aumento de resistencia del mortero a la tracción).

$H_1$ : Al menos una  $u_i$  es diferente a los demás (un porcentaje de paja ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia del mortero a la tracción que los otros tres).

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 9.12$$

**P-valor: 0.001**

**Decisión:** Como P valor es menor que  $\alpha$  ( $0.001 < 0.050$ ), entonces se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, al menos un porcentaje de ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia del mortero a la tracción que los otros tres porcentajes.

### 3°. Comparaciones múltiples.

¿Qué porcentaje de paja ichu tiene más incidencia en el aumento de la resistencia del mortero a la tracción?

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

$$H_0: u_A = u_B$$

$$H_1: u_A \neq u_B$$

$$H_0: u_A = u_C$$

$$H_1: u_A \neq u_C$$

$$H_0: u_A = u_D$$

$$H_1: u_A \neq u_D$$

$$H_0: u_B = u_C$$

$$H_1: u_B \neq u_C$$

$$H_0: u_B = u_D$$

$$H_1: u_B \neq u_D$$

$$H_0: u_C = u_D$$

$$H_1: u_C \neq u_D$$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 19: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia del mortero a la tracción.

| % Paja | N | Media    | Agrupación |   |   |
|--------|---|----------|------------|---|---|
| D      | 6 | 0.409951 | A          |   |   |
| C      | 6 | 0.363786 | A          | B |   |
| B      | 6 | 0.337181 |            | B | C |
| A      | 6 | 0.279962 |            |   | C |

\*Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Análisis:** Las medias de los resultados de la resistencia del mortero a la tracción D y C, medias C y B, y medias B y A comparten una misma letra, esto quiere decir que estadísticamente estos conjuntos de medias son similares.

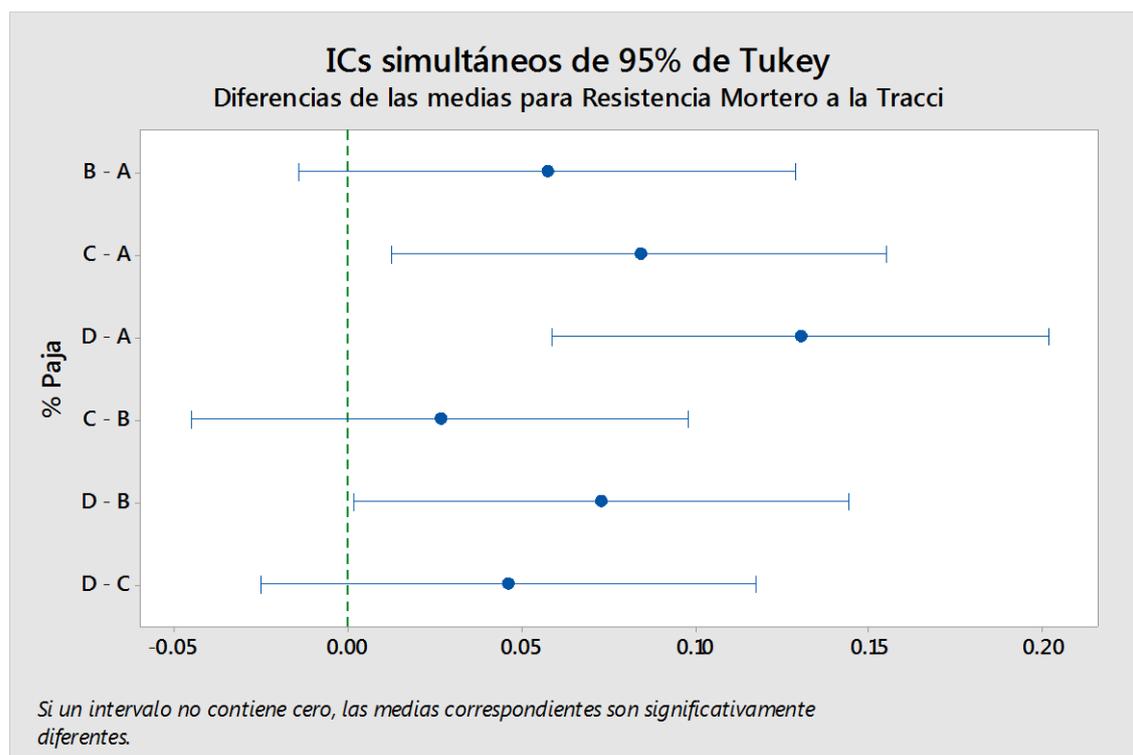


Figura 73: Diferencias de las medias para la resistencia del mortero a la tracción.

**Análisis:** Se aprecia que las medias del par C y A, del par D y A y del par D-B son significativamente diferentes, puesto que el intervalo de estas no contiene cero.

**CONCLUSIÓN:** A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 1.20 % de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento en resistencia del mortero a la tracción de adobe (tipo D) porque tiene mayor promedio (0.41).

#### 5.2.4.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D).

El objetivo específico de la investigación es determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia mecánica del mortero a la tracción en el distrito Cajamarca, a continuación, se presentan gráficos de los ensayos del mortero a la tracción, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada los resultados obtenidos.



Figura 74: Ensayo del mortero a la tracción (tipo A).



Figura 75: Ensayo del mortero a la tracción (tipo B).



Figura 76: Ensayo del mortero a la tracción (tipo C).



Figura 77: Ensayo del mortero a la tracción (tipo D).



Figura 78: Estado del espécimen después del ensayo del mortero a la tracción (tipo A).



Figura 79: Estado del espécimen después del ensayo del mortero a la tracción (tipo B).

**Análisis:** En las figuras inmediatamente superiores se observan los ensayos del mortero a la tracción de los especímenes A, B, C y D. Una característica peculiar del mortero de los especímenes de adobes sin paja es que estos fallan en algunos casos en la unión de las caras adobe-mortero, y la separación de estos es inmediata después de ocurrida la carga de rotura, no sucede esto con el mortero de los especímenes que tienen paja ichu, la falla frágil se da en el mortero y estos aún quedan unidos parcialmente a la cara lateral del adobe porque la paja restringe la separación inmediata, esto se debe a la adherencia que hay entre las partículas de la tierra con la paja ichu en las caras de unión adobe - mortero, contrarrestando los esfuerzos generados en la probeta.

#### **Análisis e interpretación y discusión de resultados:**

Se aprecia la figura 38 que la resistencia del mortero a la tracción de adobe aumenta con la adición de paja ichu hasta el porcentaje de 1.20 % (mortero de adobe tipo D).

En la figura 39 se compara la resistencia del mortero a la tracción de adobe sin paja, tipo "A", con la resistencia del mortero a la tracción de adobes con paja, tipo B (0.40%), C (0.80%) y D (1.20%), y con el valor de la Norma E.080-2017. Se observa que la adición de paja mejora la resistencia del mortero a la tracción hasta el porcentaje de 1.20 %. El mortero de adobe sin paja tiene una  $\delta$  promedio de 0.28 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los morteros de adobe con paja tienen un  $\delta$  de 0.34 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo B), 0.36 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo C) y 0.41 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo D). El esfuerzo de tracción del mortero del adobe sin paja resiste 20 %, 30 % y 46 % menos que el adobe con paja, y 57 % más que el valor de la Norma E.080-2017 (0.12 Kg/cm<sup>2</sup>).

## 5.2.5. Análisis, interpretación y discusión de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe.

### 5.2.5.1. Análisis estadístico en Minitab de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe.

Pautas a verificar:

#### 1°. Verificar los supuestos:

##### a. Normalidad de los errores.

Hipótesis:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_1$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

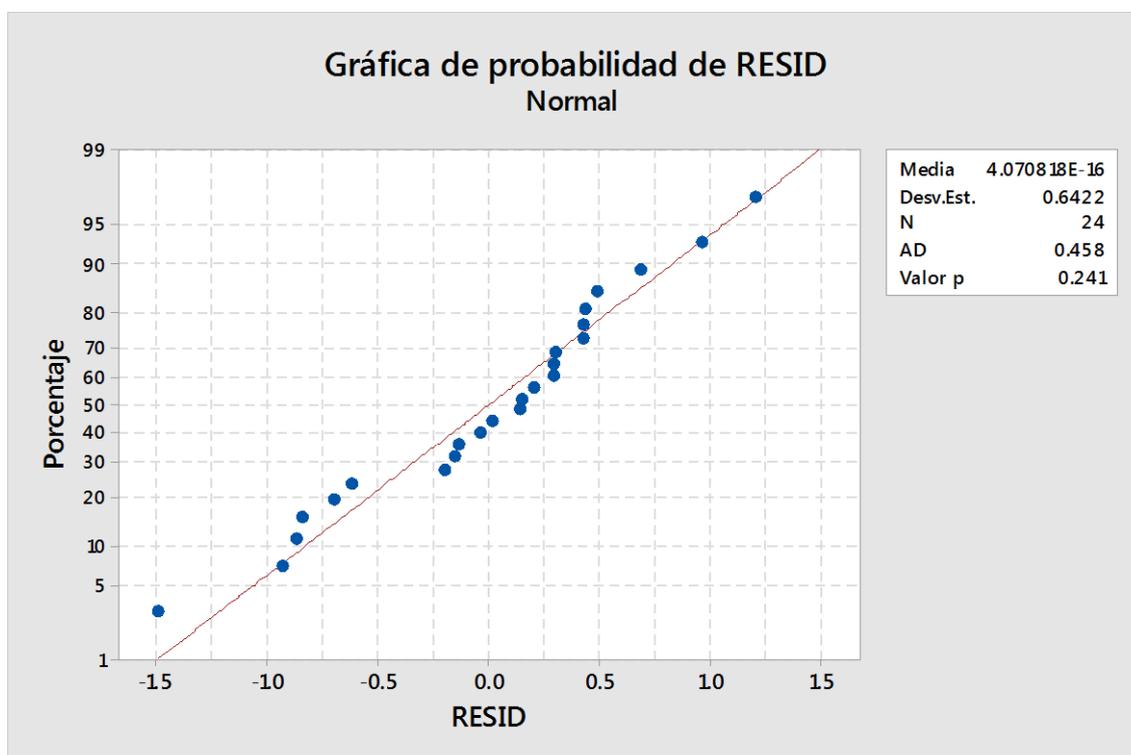


Figura 80: Prueba de normalidad de residuos de los resultados del ensayo de la resistencia del murete a la compresión de adobe

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$AD = 0.458$$

**P-valor:** 0.241

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.241 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de normalidad.

### b. Homogeneidad de varianzas.

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente.

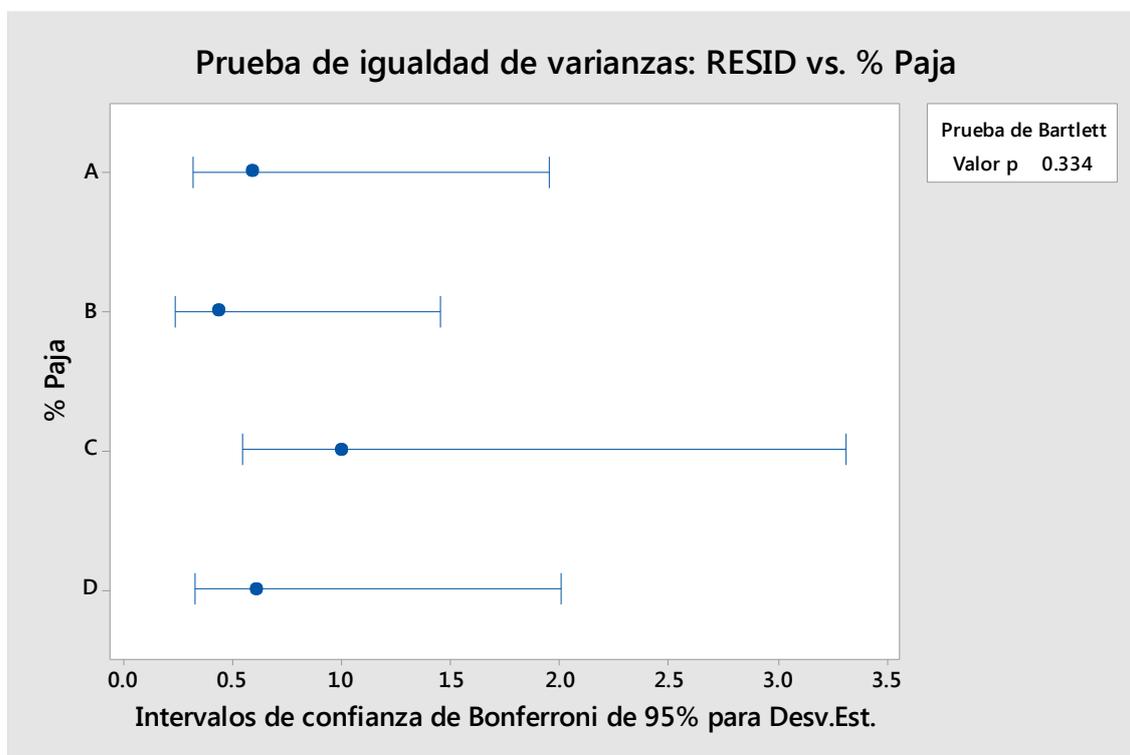


Figura 81: Prueba de igualdad de varianzas de los residuos de los resultados del ensayo a compresión del murete del adobe.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

Bartlett: 3.40

**P-valor:** 0.334

**Decisión:** Como P valor es mayor que  $\alpha$  ( $0.334 > 0.050$ ), entonces no se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## 2°. Análisis de varianza.

¿Al menos uno de los cuatro porcentajes de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento de la resistencia del murete a la compresión de adobe que los otros tres?

Hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = u_4$  (no hay diferencias significativas en la incidencia de los cuatro porcentajes de paja ichu en el aumento de la resistencia del murete a la compresión de adobe)

$H_1$ : Al menos una  $u_i$  es diferente a los demás (un porcentaje de paja ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia del murete a la compresión de adobe que los otros tres)

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba:

$$F = 8.74$$

**P-valor: 0.001**

**Decisión:** Como P valor es menor que  $\alpha$  ( $0.001 < 0.050$ ), entonces se rechaza la hipótesis nula.

**Conclusión:** Con una significancia del 5 %, al menos un porcentaje de ichu incide diferentemente en el aumento de la resistencia del murete a la compresión de adobe que los tres porcentajes.

## 3°. Comparaciones múltiples.

¿Qué porcentaje de paja ichu tiene más incidencia en el aumento de la resistencia del murete a la compresión de adobe?

Prueba de Tukey:

Hipótesis:

$$H_0: u_A = u_B$$

$$H_1: u_A \neq u_B$$

$$H_0: u_A = u_C$$

$$H_1: u_A \neq u_C$$

$$H_0: u_A = u_D$$

$$H_1: u_A \neq u_D$$

$$H_0: u_B = u_C$$

$$H_1: u_B \neq u_C$$

$$H_0: u_B = u_D$$

$$H_1: u_B \neq u_D$$

$$H_0: u_C = u_D$$

$$H_1: u_C \neq u_D$$

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 20: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% de la resistencia del murete a la compresión de adobe.

| % Paja | N | Media   | Agrupación |          |
|--------|---|---------|------------|----------|
| C      | 6 | 10.3943 | <b>A</b>   |          |
| D      | 6 | 9.4300  | <b>A</b>   | <b>B</b> |
| B      | 6 | 8.7310  |            | <b>B</b> |
| A      | 6 | 8.5685  |            | <b>B</b> |

\*Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Análisis:** Las medias de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe C y D, así como las medias de los resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe D, B y A comparten una misma letra, esto quiere decir que estadísticamente estos conjuntos de medias son similares.

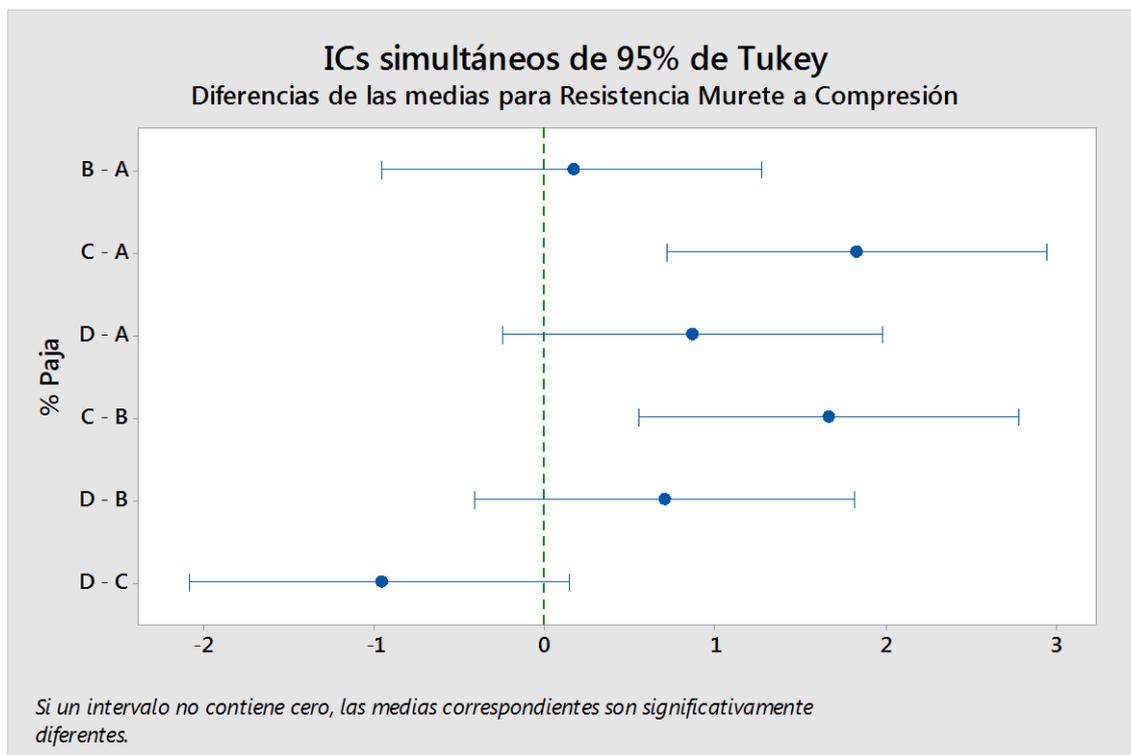


Figura 82: Diferencias de las medias para la resistencia del murete a la compresión de adobe.

**Análisis:** Se aprecia que las medias del par C y A y del par C-B son significativamente diferentes, puesto que el intervalo de estas no contiene cero.

**CONCLUSIÓN:** A un nivel de significancia del 5%, se concluye que el porcentaje 0.80 % de paja ichu tiene mayor incidencia en el aumento en la resistencia del murete a la compresión de adobe (tipo C) porque tiene mayor promedio (10.39).

#### 5.2.5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados de la resistencia del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).

El objetivo específico es determinar la incidencia de la fibra vegetal paja ichu (0 % de paja, 0.40 % de paja, 0.80 % de paja, 1.20 % de paja) en la resistencia mecánica del murete a la compresión del adobe en el distrito de Cajamarca, a continuación, se presentan figuras de los ensayos a la compresión de los muretes de adobe, que permitirán tener una perspectiva concreta y adecuada los resultados obtenidos.



Figura 83: Murete de adobe tipo A, durante del ensayo a compresión.



Figura 84: Murete de adobe tipo B, durante del ensayo a compresión.



Figura 85: Murete de adobe tipo C, durante del ensayo a compresión.

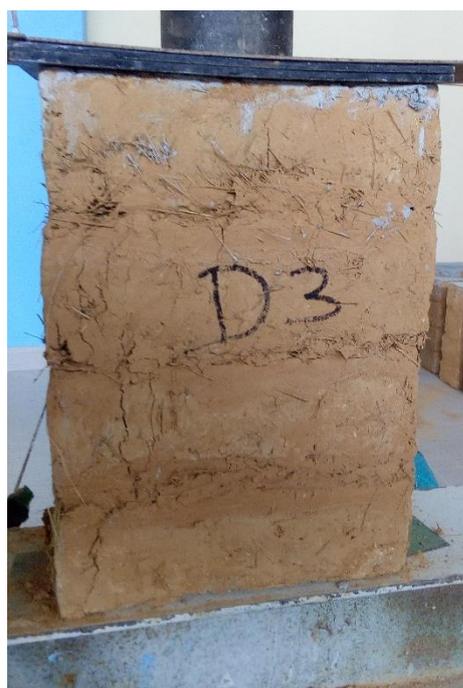


Figura 86: Murete de adobe tipo D, durante del ensayo a compresión.

**Análisis:** En las figuras inmediatamente superiores se observan a los muretes de adobe durante del ensayo a compresión, en los cuatro tipos (A, B, C y D) se presentan fallas frágiles, estas son típicas en los ensayos a la compresión del murete, estas fisuras son paralelas a el eje de aplicación de carga.

### **Análisis e interpretación y discusión de resultados:**

Se aprecia en la figura 40 que la resistencia a compresión del murete de adobe aumenta con la adición de paja ichu hasta el porcentaje de 0.80 % (murete de adobe tipo C), con la adición de paja de 1.20 %, donde la mezcla (tierra más paja más agua) posee una trabajabilidad mala se nota un decremento de la resistencia a compresión del murete de adobe.

En la figura 41 se compara las resistencias a compresión del murete de adobe sin paja, tipo “A”, con los muretes de adobes con paja, tipo B (0.40%), C (0.80%) y D (1.20%), y con el valor de la Norma E.080-2017. Se observa que la adición de paja mejora la resistencia a compresión del murete hasta el porcentaje de 0.80 %, posteriormente se nota un decremento con el porcentaje de 1.20 %. El murete de adobe sin paja tiene una  $f_m$  promedio de 3.43 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los muretes de adobe con paja tienen un  $f_m$  de 3.49 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo B), 4.16 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo C) y 3.77 Kg/cm<sup>2</sup> (tipo D). El adobe sin paja resiste 2 %, 21% y 10 % menos que el adobe con paja, y 29 % menos que el valor de la Norma E.080-2017 (6.12 Kg/cm<sup>2</sup>).

Finalmente, algunos autores señalan que la paja es prescindible en la elaboración del adobe si el suelo cuenta con la proporción de arcilla y arena adecuada, sin embargo, estas perspectivas según los resultados obtenidos en la investigación son incorrectas y desacertadas, el suelo de la cantera usado para este estudio cumple con la gradación dada en la Norma E.080 (MVCS, 2006), pese a ello, se demostró que la adición de la paja ichu incide directamente en la resistencia mecánica del adobe aumentándola en más del 5%. De otro lado un aspecto, que es esencial recalcar, es que la elaboración de adobe del distrito cajamarquino se debe a diversos factores (disponibilidad de materiales, emplazamiento final de la vivienda, uso de suelo de la misma explanación, uso de suelos orgánicos, economía, etc.), existiendo una alta probabilidad de obtener adobes con resistencia mecánica inferiores a lo señalado en la normativa nacional vigente. La paja ichu cumple un rol necesario en la fase de secado del adobe evitando fisuras, más esta, como se ha demostrado, tiene un rol determinante en la resistencia mecánica del adobe (compresión, flexión, tracción) y se hace de esta de uso imprescindible en la elaboración del adobe tradicional Cajamarquino.

### 5.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

El estudio planteó la siguiente hipótesis general: “La incidencia de la adición de la fibra vegetal paja ichu es positiva puesto que aumenta la resistencia mecánica del adobe en más del 5 % el distrito de Cajamarca”, para la contrastación de esta se plantearon hipótesis específicas desarrolladas a continuación:

**Contrastación:** Hecha la investigación, contrastando con las figuras 32-86, dicha hipótesis se valida, ya que, en el análisis e interpretación y discusión de los resultados del estudio, la incidencia de la adición de la paja ichu aumenta la resistencia mecánica en más del 5 % tanto a la resistencia a compresión de la unidad (5 %), resistencia a tracción de la unidad (13 %), resistencia a flexión de la unidad (25 %), resistencia a tracción del mortero (30 %) y resistencia a compresión de muretes (21 %); **de las 5 resistencias mecánicas estudiadas todas inciden en el aumento a la resistencia mecánica en más del 5 %, por lo tanto, se contrasta la misma.**

## CONCLUSIONES

- La adición de la paja ichu incide positivamente en la resistencia mecánica del adobe, aumentándola en un porcentaje mayor al 5 %.
- El adobe sin paja, tipo A, tiene una resistencia última  $f_0 = 13.90 \text{ Kg/cm}^2$ ; los adobes con paja tipo B (0.40 %), C (0.80 %) y D (1.20 %) tienen una resistencia última  $f_0 = 14.28 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f_0 = 14.57 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f_0 = 12.89 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.
- El adobe sin paja, tipo A (0%), tiene un esfuerzo a la tracción de  $1.82 \text{ Kg/cm}^2$ ; los adobes con paja tipo B (0.40 %), C (0.80 %) y D (1.20 %) tienen un esfuerzo a la tracción de  $1.98 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $2.06 \text{ Kg/cm}^2$  y  $1.76 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.
- El adobe sin paja, tipo A (0%), tiene un esfuerzo a la flexión de  $3.60 \text{ Kg/cm}^2$ ; los adobes con paja tipo B (0.40 %), C (0.80 %) y D (1.20 %) tienen un esfuerzo a la flexión de  $4.09 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $4.50 \text{ Kg/cm}^2$  y  $5.70 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.
- El adobe sin paja, tipo A (0%), tiene un  $\delta$  ( $\delta =$  esfuerzo de tracción del mortero) de  $0.28 \text{ Kg/cm}^2$ ; los adobes con paja tipo B (0.40 %), C (0.80 %) y D (1.20 %) tienen un  $\delta$  de  $0.34 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $0.36 \text{ Kg/cm}^2$  y  $0.41 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.
- El murete de adobe sin paja, tipo A (0%), tiene un esfuerzo de compresión admisible del murete  $f'_m = 8.57 \text{ Kg/cm}^2$ ; los muretes de adobe con paja tipo B (0.40 %), C (0.80 %) y D (1.20 %) tienen esfuerzo de compresión admisible del murete  $f'_m = 8.73 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'_m = 10.39 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'_m = 9.43 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.

## RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

De la presente investigación se llegó a las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda hacer ensayos para medir la incidencia de la adición de paja ichu en la resistencia del murete a la tracción indirecta.
- Se recomienda usar un esfuerzo de compresión admisible del murete  $f'_m = 10.39 \text{ Kg/cm}^2$  para el diseño de viviendas de adobe, este parámetro será válido para las canteras adoberas del distrito de Cajamarca que tengan características similares de gradación de suelo que el de la cantera adobera Cruz Blanca.
- Se recomienda la adición 0.80 % de paja ichu con respecto al peso seco del suelo en la elaboración de adobes convencionales, ya que la mezcla con este porcentaje es trabajable y los resultados de la mayoría de resistencias son los mejores.
- Se recomienda al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú incluir el ensayo de resistencia a flexión de la unidad del adobe en la Norma E.080.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia de la Lengua Quechua. (2005). *Simi Taqe, Qheswa-Español-Qheswa*. Cuzco: Gobierno Regional del Cuzco. Recuperado el 29 de agosto de 2019, de [http://lengamer.org/admin/language\\_folders/quechuadecusco/user\\_uploaded\\_files/links/File/AMLQuechua-Dic.pdf](http://lengamer.org/admin/language_folders/quechuadecusco/user_uploaded_files/links/File/AMLQuechua-Dic.pdf)
- Albarracín, Jaramillo, y Albuja. (2015). *Obtención de Bioetanol Anhidro a Partir de Paja (Stipa ichu)*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Quito, Ecuador. Recuperado el 01 de septiembre de 2019, de <https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo2/ObtenciondeBioetanolAnhidroaPartirdePaja.pdf>
- Altamirano, O. (2018). *Análisis de la resistencia a compresión del adobe estabilizado con cal en la ciudad de Cajamarca*. Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2528>
- Atahuachi, G., y Carcausto, Y. (2018). *Aislante termoacústico a base de Stipa Ichu para atenuar el ruido y cambios drásticos de temperatura en viviendas de sectores en expansión urbana de la ciudad de Puno*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Puno. Recuperado el 01 de septiembre de 2019, de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11138/Atahuachi\\_Gaby\\_Carcausto\\_Yanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0sEEM6FYYNzXsTGsmAik8RQxtde3zEYXxPMYRgPVL8eF4Z4D3FxSdOSVg](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11138/Atahuachi_Gaby_Carcausto_Yanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0sEEM6FYYNzXsTGsmAik8RQxtde3zEYXxPMYRgPVL8eF4Z4D3FxSdOSVg)
- Badiola, V. (2004). *Principios Básicos de Resistencia de Materiales-Dpto. Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales-Universidad Pública de Navarra*. Navarra, España. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de [http://www.imac.unavarra.es/web\\_imac/pages/docencia/assignaturas/maquinasiti/Apunteak/Cap1.pdf](http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/assignaturas/maquinasiti/Apunteak/Cap1.pdf)
- Besoain. (1985). *Mineralogía de Arcillas de Suelos*. San José, Costa Rica: IICA. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de [https://books.google.com.ec/books?id=pfL7oUpzIIQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_rycad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=pfL7oUpzIIQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepage&q&f=false)
- Blondet, M., Villa, G., y Brzev, S. (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*. Enciclopedia Mundial de Vivienda del EERI/IAEE. Recuperado el 04 de mayo de 2017, de [http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe\\_Tutorial\\_Spanish\\_Blondet.pdf](http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe_Tutorial_Spanish_Blondet.pdf)
- Briones, T., y Estrada, W. (2018). *Compresión axial del adobe compactado con fibras de paja ichu, paja de arroz y paja de trigo*. Tesis Profesional para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Cajamarca. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14070>
- Cáceres. (2017). *Análisis de la Resistencia Mecánica del Adobe Estabilizado con Cal y Compactado para Construcciones Ecológicas-Económicas en Cajamarca*. Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, 2017. 133h.

- Cachi, N. (2016). *Incremento de la Resistencia Mecánica del Adobe Estabilizado con Cemento para Construcciones Ecológicas-Económicas en Cajamarca. Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.*
- Cappadoce. (1985). *Berceau de l'Historie. Ata. Ómer Demir. 2aEdit. Derinkuyu.*
- Cáritas del Perú. (2007). *Módulos de vivienda de adobe reforzado con caña. Lima. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1946/doc1946-2.pdf>*
- Carnevale et al. (2015). *Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales material pedagógico de tierra en Cuenca. Instituto Nacional del Patrimonio Cultural (INPC). Recuperado el 10 de agosto de 2018, de <http://whc.unesco.org/document/142073>*
- Chávez, y Dulanto. (2017). (U. P. Aplicadas\_UPC, Editor) *Recuperado el 14 de Julio de 2019, de [https://issuu.com/jorgeluischavez/docs/analisis\\_centro\\_historico\\_cajamarca](https://issuu.com/jorgeluischavez/docs/analisis_centro_historico_cajamarca)*
- Chuya, E., y Alaya, M. (2018). *Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con adobe reforzado con fibra de vidrio. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Arquitecto, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca., Cuenca. Recuperado el 15 de junio de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30095>*
- Cid, J., Mazarrón, F., y Cañas, I. (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo. (U. P. Madrid, Ed.) Informes de la Construcción, 63, 523, 159-169, 11. doi:10.3989/ic.10.011*
- CIP. (2012). *Experiencias sobre la utilización de materiales locales en la Construcción de Sistemas Constructivos No Convencionales -SCNC. Revista Técnica de Ingeniería Civil-Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Departamental de Lima, Lima. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de [http://www.cdlima.org.pe/docs/pdf\\_civil/diciembre-2012.pdf](http://www.cdlima.org.pe/docs/pdf_civil/diciembre-2012.pdf)*
- CONRED. (1996). *Manual de Refuerzo de Viviendas de Adobe. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Guatemala. Recuperado el 2019 de Julio de 10, de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0064/doc0064.pdf>*
- Fondo MIVIVIENDA S.A. (agosto de 2009). *Estudio de Mercado de la Vivienda Social en la Ciudad de Cajamarca. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de <http://www.mivivienda.com.pe/PortalCMS/archivos/documentos/EstudiodeMercadodelaViviendaSocialenCajamarca.pdf>*
- Font, Q. P. (1982). *Diccionario de Botánica. Barcelona: Editorial Labor, S. A.*
- Gallegos, y Casabonne. (2005). *Albañilería Estructural. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú Fondo Editorial.*
- Hernández, I. (2016). *Block de adobe con fibra de platanal aplicado al proyecto Centro de rehabilitación en Palenque Chiapas. Tesis (Ingeniero Arquitecto), Instituto Politécnico Nacional, Licenciatura., Tecamachalco, Estado de México. Recuperado el 20 de junio de 2019, de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22170>*
- Houben, y Guillard. (1994). *Earth Construction - A Comprehensive Guide. ITDG Publishing, London, UK.*

- Igarashi, H. L. (2009). *Reforzamiento Estructural de Muros de Adobe. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú: UNI. Recuperado el 04 de mayo de 2017, de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/463>*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. Ecuador.*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2016). *Encuesta Nacional de Hogares. Lima, Lima, Perú. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>*
- López, y Bernilla. (25 de abril de 2017). *Evaluación Funcional y Constructiva de Viviendas con Adobe Estabilizado en Cayalti. Programa Cobe - 1976. Tesis para optar el Grado de Maestro. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Sección de Posgrado, 2012. 237 h. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1130>*
- Manrique, J. (2016). *Evaluación de niveles de cáscara de arroz y su influencia sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de adobe. Zungaro Cocha, 2016 (Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de la A. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/5346>*
- Mantilla, J. (2018). *Variación de las propiedades físico mecánicas del adobe al incorporar viruta y caucho. Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca., Cajamarca. Recuperado el junio de 02 de 2019, de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1996>*
- Meta. (2018). *META2020 arquitectos. Recuperado el 31 de agosto de 2018, de <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>*
- Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (10 de junio de 2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.080 Adobe. (El Peruano, Ed.) Lima, Lima, Perú.*
- Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (10 de abril de 2017). *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada. (El Peruano, Ed.) Lima, Lima, Perú.*
- Minke. (2001). *Manual de Construcciones en Tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Kassel: Fin de Siglo. Obtenido de <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf>*
- Minke, G., y Mahlke, f. (2006). *Manual de Construcción con Fardos de Paja. Fin de Siglo. ISBN: 9974493617*
- Montesinos, M. (2016). *Caracterización mecánica de componentes estructurales en construcciones arqueológicas de tierra: El caso de Huaca de La Luna. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú). Lima. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7014>*

- Morales et. al. (1993). *Manual para la Construcción de Viviendas Adobe*. Programa de Proyección Social. CISMID. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Muñiz, E. (2013). *Evaluación y Alternativas de Mejoramiento de las Viviendas Autoconstruidas de Adobe de la Zona Rural del Distrito de Sicuani-Cuzco*. Tesis Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Lima. Recuperado el Julio de 10 de 2019, de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3448/1/muniz\\_hh.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3448/1/muniz_hh.pdf)
- Neves, C., y Borges, F. O. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. ISBN 978-85-64472-01-3. Bauru, Brasil: Faculdade de Engenharia de Bauru. (UNESP). Recuperado el 04 de mayo de 2017, de <https://centrociart.files.wordpress.com/2013/10/tc3a9cnicas-de-construccic3b3n-con-tierra.pdf>
- Prado, F., y Gonzáles, M. (2012). *Incidencia de la adición de fibras poliméricas para morteros sobre la resistencia a flexión y compresión de estucos de barro*. *Revista de la construcción*, 11(3), 4-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000300002>.
- Real Academia Española. (2018). *Adobe*. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <https://dle.rae.es/?id=0nZkMqZ>
- Rivera, J. (2012). *El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales*. Bogotá, Colombia.: ISSN 1657-9763
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2012). *Arquitectura de Tierra: Caracterización de los Tipos Edificatorios*. Cataluña: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 01 de mayo de 2017, de [https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2009-10-tesinas-pres/26-beatriz-yuste-miguel-arquitectura-de-tierra\\_completo.pdf](https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2009-10-tesinas-pres/26-beatriz-yuste-miguel-arquitectura-de-tierra_completo.pdf)
- Vélez, G. (18 de agosto de 2010). *Revista Digital de Arquitectura*. Obtenido de [https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2010/08/arquitectura-con-barro-arq-gonzalo.html?fbclid=IwAR05pxR0LiKxRPwrZH\\_4JVFAJSBXY5HZWCgbLWMatXVEZSf2KOvyORKtMwo](https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2010/08/arquitectura-con-barro-arq-gonzalo.html?fbclid=IwAR05pxR0LiKxRPwrZH_4JVFAJSBXY5HZWCgbLWMatXVEZSf2KOvyORKtMwo)
- World Heritage Earthen Architecture Programme (WHEAP). (2012). *World Heritage - Inventory of earthen architecture*. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002170/217020e.pdf>

## **APÉNDICES**

- A. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica de los especímenes (para compresión, tracción, flexión) de adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).**

Datos - resumen de las resistencias a la compresión del adobe sin paja (A) y del adobe con paja (B, C y D).

| N°    | Lectura Máquina (kg-f) |                 |                 |                 | Área (cm <sup>2</sup> ) |                |                |                | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |               |               |               |
|-------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|       | A                      | B               | C               | D               | A                       | B              | C              | D              | A                              | B             | C             | D             |
| 1     | 1144.10                | 1441.86         | 1368.44         | 1228.74         | 85.75                   | 89.21          | 89.21          | 92.35          | 13.34                          | 16.16         | 15.34         | 13.31         |
| 2     | 1146.14                | 1117.59         | 1269.53         | 1142.06         | 86.21                   | 91.11          | 88.82          | 91.30          | 13.29                          | 12.27         | 14.29         | 12.51         |
| 3     | 1215.48                | 1129.83         | 1377.61         | 1264.43         | 86.76                   | 90.25          | 91.97          | 88.64          | 14.01                          | 12.52         | 14.98         | 14.26         |
| 4     | 1278.70                | 1473.47         | 1258.31         | 1206.31         | 85.84                   | 89.40          | 90.06          | 91.76          | 14.90                          | 16.48         | 13.97         | 13.15         |
| 5     | 1264.43                | 1081.90         | 1208.34         | 1312.35         | 87.98                   | 88.74          | 91.76          | 90.82          | 14.37                          | 12.19         | 13.17         | 14.45         |
| 6     | 1146.14                | 1395.97         | 1053.35         | 1169.60         | 87.22                   | 89.21          | 89.20          | 88.82          | 13.14                          | 15.65         | 11.81         | 13.17         |
| 7     | 1259.33                | 1438.80         | 1254.23         | 1158.38         | 87.61                   | 89.77          | 89.68          | 93.51          | 14.37                          | 16.03         | 13.99         | 12.39         |
| 8     | 1128.81                | 1148.18         | 1501.00         | 1162.46         | 88.17                   | 89.29          | 89.20          | 92.93          | 12.80                          | 12.86         | 16.83         | 12.51         |
| 9     | 1141.04                | 1094.14         | 1381.69         | 1021.74         | 86.58                   | 89.77          | 89.20          | 91.76          | 13.18                          | 12.19         | 15.49         | 11.13         |
| 10    | 1337.85                | 1371.50         | 1412.28         | 1096.18         | 87.05                   | 89.77          | 86.68          | 89.87          | 15.37                          | 15.28         | 16.29         | 12.20         |
| 11    | 1158.38                | 1386.79         | 1340.91         | 1174.51         | 87.61                   | 89.59          | 89.67          | 91.78          | 13.22                          | 15.48         | 14.95         | 12.80         |
| 12    | 1318.47                | 1280.00         | 1228.74         | 1157.36         | 89.24                   | 89.65          | 89.21          | 90.72          | 14.77                          | 14.28         | 13.77         | 12.76         |
| Σ     | <b>14538.88</b>        | <b>15360.02</b> | <b>15654.43</b> | <b>14094.11</b> | <b>1046.02</b>          | <b>1075.74</b> | <b>1074.65</b> | <b>1094.26</b> | <b>166.78</b>                  | <b>171.38</b> | <b>174.89</b> | <b>154.63</b> |
| Prom. | <b>1211.57</b>         | <b>1280.00</b>  | <b>1304.54</b>  | <b>1174.51</b>  | <b>87.17</b>            | <b>89.64</b>   | <b>89.55</b>   | <b>91.19</b>   | <b>13.90</b>                   | <b>14.28</b>  | <b>14.57</b>  | <b>12.89</b>  |

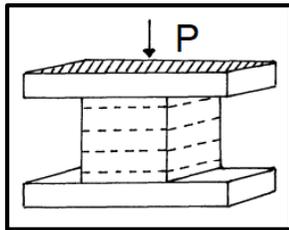


Fig. Ensayo de Compresión a la unidad (NT E. 080-2017)

| ADOBE TIPO | % PAJA ICHU |
|------------|-------------|
| A          | 0.00        |
| B          | 0.40        |
| C          | 0.80        |
| D          | 1.20        |

**NOTAS:**

- Norma E.080 - 2017 f<sub>c</sub>: 10.20 kg-f/cm<sup>2</sup>.
- % Paja ichu con respecto al peso seco de tierra.

Datos - resumen de la resistencia del adobe a la tracción sin paja (A) y del adobe a la tracción con paja (B, C, D).

| N°          | Carga de Rotura (kg-f) |                |                |                | Medidas probetas (cm) |               |              |               |              |               |              |               | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|-------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|             | A                      | B              | C              | D              | A                     |               | B            |               | C            |               | D            |               | A                              | B            | C            | D            |
|             |                        |                |                |                | D prom (cm)           | h prom (cm)   | D prom (cm)  | h prom (cm)   | D prom (cm)  | h prom (cm)   | D prom (cm)  | h prom (cm)   |                                |              |              |              |
| 1           | 1149.20                | 1052.33        | 1268.51        | 1234.86        | 14.41                 | 28.45         | 14.18        | 27.85         | 14.18        | 28.65         | 14.64        | 28.45         | 1.78                           | 1.70         | 1.99         | 1.89         |
| 2           | 1224.66                | 1244.03        | 1267.49        | 1077.82        | 14.50                 | 28.40         | 14.03        | 26.65         | 14.37        | 28.60         | 14.21        | 28.40         | 1.89                           | 2.12         | 1.96         | 1.70         |
| 3           | 1122.69                | 1177.75        | 1288.90        | 1041.11        | 14.37                 | 28.31         | 13.86        | 27.13         | 14.50        | 28.45         | 14.45        | 29.25         | 1.76                           | 2.00         | 1.99         | 1.57         |
| 4           | 1261.37                | 1102.30        | 1335.81        | 1131.87        | 14.28                 | 28.13         | 13.72        | 27.05         | 14.31        | 27.95         | 14.42        | 29.45         | 2.00                           | 1.89         | 2.13         | 1.70         |
| 5           | 1183.87                | 1249.13        | 1423.50        | 1241.99        | 14.23                 | 28.05         | 13.73        | 27.10         | 14.17        | 28.35         | 14.45        | 28.30         | 1.89                           | 2.14         | 2.26         | 1.93         |
| 6           | 1033.47                | 1189.99        | 1280.74        | 1149.41        | 14.36                 | 28.65         | 13.71        | 27.48         | 14.31        | 28.32         | 14.43        | 28.77         | 1.60                           | 2.01         | 2.01         | 1.76         |
| $\Sigma$    | <b>6975.26</b>         | <b>7015.54</b> | <b>7864.95</b> | <b>6877.06</b> | <b>86.14</b>          | <b>169.99</b> | <b>83.21</b> | <b>163.25</b> | <b>85.82</b> | <b>170.32</b> | <b>86.58</b> | <b>172.62</b> | <b>10.92</b>                   | <b>11.85</b> | <b>12.34</b> | <b>10.55</b> |
| <b>Prom</b> | <b>1162.54</b>         | <b>1169.26</b> | <b>1310.82</b> | <b>1146.18</b> | <b>14.36</b>          | <b>28.33</b>  | <b>13.87</b> | <b>27.21</b>  | <b>14.30</b> | <b>28.39</b>  | <b>14.43</b> | <b>28.77</b>  | <b>1.82</b>                    | <b>1.98</b>  | <b>2.06</b>  | <b>1.76</b>  |

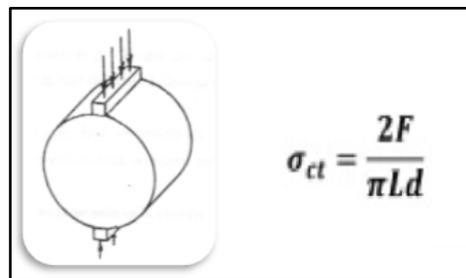


Fig. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta (NT E. 080-2017)

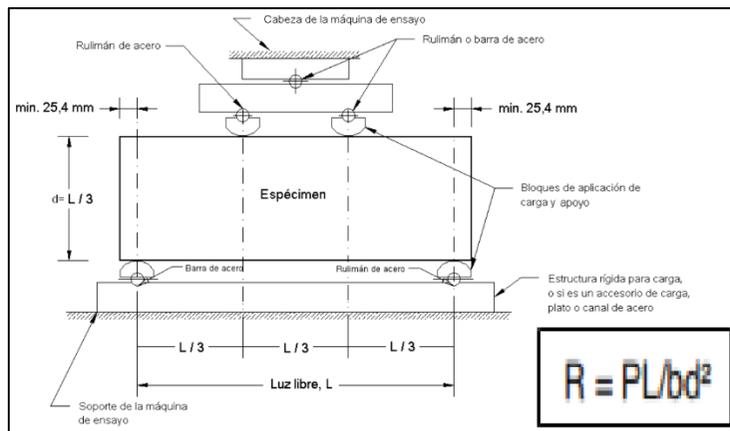
| ADOBE TIPO | % PAJA ICHU |
|------------|-------------|
| A          | 0.00        |
| B          | 0.40        |
| C          | 0.80        |
| D          | 1.20        |

**NOTAS:**

- Norma E.080-2017 Resistencia última: 0.81 kg-f/cm<sup>2</sup>.
- % Paja ichu con respecto al peso seco de tierra.

Datos - Resumen de la resistencia a flexión del adobe sin paja (A) y de la resistencia a flexión del adobe con paja (B, C, D).

| N°   | Carga de Rotura (kg-f) |         |         |         | Medidas probetas (cm) |            |             |                |            |             |                |            |             |                |            |             | Esfuerzo (kg-f/cm <sup>2</sup> ) |       |       |       |
|------|------------------------|---------|---------|---------|-----------------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|----------------------------------|-------|-------|-------|
|      | A                      | B       | C       | D       | A                     |            |             | B              |            |             | C              |            |             | D              |            |             | A                                | B     | C     | D     |
|      |                        |         |         |         | Luz Libre (cm)        | Ancho (cm) | Altura (cm) | Luz Libre (cm) | Ancho (cm) | Altura (cm) | Luz Libre (cm) | Ancho (cm) | Altura (cm) | Luz Libre (cm) | Ancho (cm) | Altura (cm) |                                  |       |       |       |
| 1    | 199.86                 | 286.54  | 312.03  | 420.12  | 30.00                 | 19.40      | 9.42        | 30.00          | 19.00      | 9.95        | 30.00          | 19.65      | 9.95        | 30.00          | 19.50      | 9.95        | 3.48                             | 4.57  | 4.81  | 6.53  |
| 2    | 215.16                 | 221.27  | 322.23  | 367.70  | 30.00                 | 19.30      | 9.80        | 30.00          | 19.40      | 9.80        | 30.00          | 19.70      | 9.90        | 30.00          | 19.60      | 10.00       | 3.48                             | 3.56  | 5.01  | 5.63  |
| 3    | 227.39                 | 261.04  | 260.02  | 378.31  | 30.00                 | 19.50      | 9.90        | 30.00          | 19.40      | 9.90        | 30.00          | 19.50      | 9.70        | 30.00          | 19.50      | 9.95        | 3.57                             | 4.12  | 4.25  | 5.88  |
| 4    | 208.02                 | 257.98  | 285.11  | 333.44  | 30.00                 | 19.60      | 9.50        | 30.00          | 19.10      | 9.85        | 30.00          | 19.30      | 10.00       | 30.00          | 19.40      | 9.80        | 3.53                             | 4.18  | 4.43  | 5.37  |
| 5    | 235.55                 | 256.56  | 270.22  | 366.07  | 30.00                 | 19.50      | 9.60        | 30.00          | 19.20      | 9.90        | 30.00          | 19.60      | 9.90        | 30.00          | 19.65      | 9.95        | 3.93                             | 4.09  | 4.22  | 5.65  |
| 6    | 217.20                 | 255.94  | 261.04  | 340.58  | 30.00                 | 19.46      | 9.64        | 30.00          | 19.20      | 10.00       | 30.00          | 19.40      | 9.70        | 30.00          | 19.80      | 10.00       | 3.60                             | 4.00  | 4.29  | 5.16  |
| Σ    | 1303.18                | 1539.34 | 1710.65 | 2206.22 | 180.00                | 116.76     | 57.86       | 180.00         | 115.30     | 59.40       | 180.00         | 117.15     | 59.15       | 180.00         | 117.45     | 59.65       | 21.59                            | 24.52 | 27.01 | 34.21 |
| Prom | 217.20                 | 256.56  | 285.11  | 367.70  | 30.00                 | 19.46      | 9.64        | 30.00          | 19.22      | 9.90        | 30.00          | 19.53      | 9.86        | 30.00          | 19.58      | 9.94        | 3.60                             | 4.09  | 4.50  | 5.70  |



| ADOBE TIPO | % PAJA ICHU |
|------------|-------------|
| A          | 0.00        |
| B          | 0.40        |
| C          | 0.80        |
| D          | 1.20        |

**NOTAS:**

- Adaptación de la norma NTE INEN 2554, para adobe.
- Fractura producida en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre del adobe.
- % Paja ichu con respecto al peso seco de tierra.

Fig. Ensayo de resistencia a flexión del adobe (Adaptación de la NTE INEN 2554)

Datos - resumen de la resistencia del mortero a la tracción sin paja (A) y del mortero a la tracción con paja (B, C, D).

| N°          | Carga de Rotura (kg-f) |                |                |                | Medidas (cm)  |               |               |               |               |               |               |               | Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> ) |             |             |             |
|-------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|             | A                      | B              | C              | D              | A             |               | B             |               | C             |               | D             |               | A                              | B           | C           | D           |
|             |                        |                |                |                | a prom (cm)   | b prom (cm)   |                                |             |             |             |
| 1           | 311.01                 | 331.40         | 322.23         | 366.07         | 19.35         | 26.60         | 19.15         | 27.05         | 19.25         | 27.05         | 18.95         | 27.10         | 0.30                           | 0.32        | 0.31        | 0.36        |
| 2           | 289.59                 | 382.39         | 412.98         | 466.00         | 19.05         | 26.45         | 19.30         | 26.85         | 19.20         | 26.65         | 19.05         | 26.95         | 0.29                           | 0.37        | 0.40        | 0.45        |
| 3           | 261.04                 | 344.86         | 299.79         | 351.80         | 19.15         | 26.25         | 19.20         | 26.65         | 19.35         | 26.65         | 19.35         | 26.95         | 0.26                           | 0.34        | 0.29        | 0.34        |
| 4           | 284.70                 | 311.01         | 434.39         | 408.90         | 19.15         | 26.65         | 19.15         | 26.50         | 19.05         | 26.65         | 19.30         | 26.75         | 0.28                           | 0.31        | 0.43        | 0.40        |
| 5           | 287.56                 | 293.67         | 395.64         | 458.87         | 19.10         | 26.65         | 19.15         | 26.15         | 19.15         | 26.75         | 19.25         | 26.90         | 0.28                           | 0.29        | 0.39        | 0.44        |
| 6           | 274.30                 | 405.84         | 376.27         | 485.38         | 19.15         | 26.60         | 19.15         | 26.65         | 19.30         | 26.70         | 19.25         | 26.65         | 0.27                           | 0.40        | 0.37        | 0.47        |
| $\Sigma$    | <b>1708.20</b>         | <b>2069.18</b> | <b>2241.30</b> | <b>2537.01</b> | <b>114.95</b> | <b>159.20</b> | <b>115.10</b> | <b>159.85</b> | <b>115.30</b> | <b>160.45</b> | <b>115.15</b> | <b>161.30</b> | <b>1.68</b>                    | <b>2.02</b> | <b>2.18</b> | <b>2.46</b> |
| <b>Prom</b> | <b>284.70</b>          | <b>344.86</b>  | <b>373.55</b>  | <b>422.84</b>  | <b>19.16</b>  | <b>26.53</b>  | <b>19.18</b>  | <b>26.64</b>  | <b>19.22</b>  | <b>26.74</b>  | <b>19.19</b>  | <b>26.88</b>  | <b>0.28</b>                    | <b>0.34</b> | <b>0.36</b> | <b>0.41</b> |

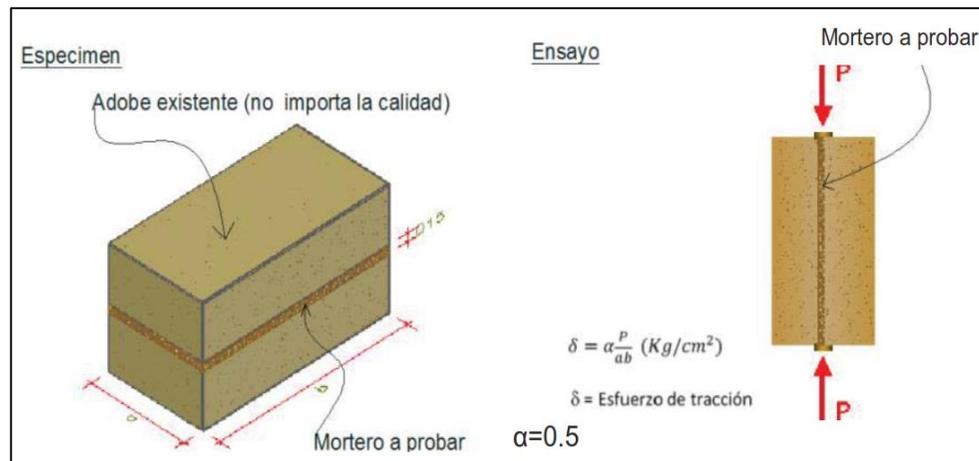


Fig. Ensayo de resistencia del mortero a la tracción (NT E. 080-2017)

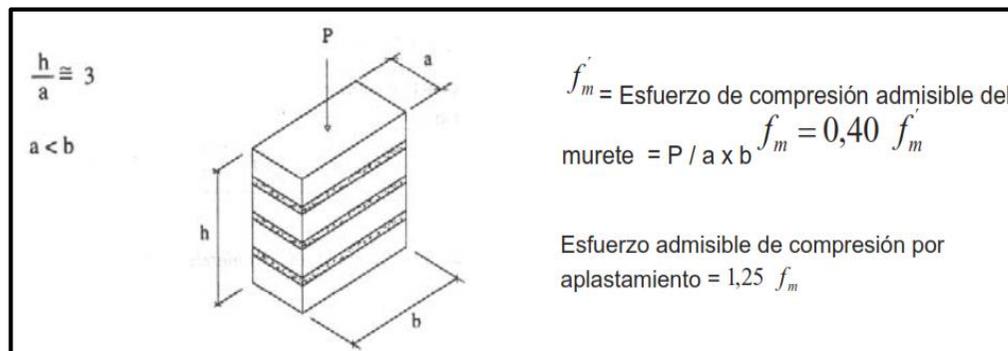
| ADOBE TIPO | % PAJA ICHU |
|------------|-------------|
| A          | 0.00        |
| B          | 0.40        |
| C          | 0.80        |
| D          | 1.20        |

**NOTAS:**

- Norma E. 080 - 2017  $\delta$ : 0.12 kg-f/cm<sup>2</sup>.
- % Paja ichu con respecto al peso seco de tierra.

Datos-resumen de las resistencias del murete a la compresión de adobe sin paja (A) y de los muretes de adobe con paja (B, C, D).

| N°   | Carga de rotura (kg-f) |                 |                 |                 | Área (cm <sup>2</sup> ) |                |                |                | Esfuerzo f' m (kg/cm <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|      | A                      | B               | C               | D               | A                       | B              | C              | D              | A                                   | B            | C            | D            |
| 1    | 3980.00                | 4180.00         | 5420.00         | 4400.00         | 449.24                  | 456.64         | 467.38         | 465.86         | 8.86                                | 9.15         | 11.60        | 9.44         |
| 2    | 3500.00                | 4160.00         | 4500.00         | 4780.00         | 440.27                  | 453.75         | 471.25         | 459.98         | 7.95                                | 9.17         | 9.55         | 10.39        |
| 3    | 3440.00                | 4020.00         | 4120.00         | 4320.00         | 446.99                  | 468.92         | 462.75         | 465.08         | 7.70                                | 8.57         | 8.90         | 9.29         |
| 4    | 4000.00                | 3680.00         | 5040.00         | 4280.00         | 451.44                  | 458.12         | 471.23         | 455.84         | 8.86                                | 8.03         | 10.70        | 9.39         |
| 5    | 4100.00                | 3920.00         | 5100.00         | 4360.00         | 452.96                  | 459.75         | 460.46         | 455.78         | 9.05                                | 8.53         | 11.08        | 9.57         |
| 6    | 4020.00                | 4120.00         | 4840.00         | 4260.00         | 446.99                  | 461.25         | 458.97         | 501.23         | 8.99                                | 8.93         | 10.55        | 8.50         |
| Σ    | <b>23040.00</b>        | <b>24080.00</b> | <b>29020.00</b> | <b>26400.00</b> | <b>2687.87</b>          | <b>2758.43</b> | <b>2792.02</b> | <b>2803.76</b> | <b>51.41</b>                        | <b>52.39</b> | <b>62.37</b> | <b>56.58</b> |
| Prom | <b>3840.00</b>         | <b>4013.33</b>  | <b>4836.67</b>  | <b>4400.00</b>  | <b>447.98</b>           | <b>459.74</b>  | <b>465.34</b>  | <b>467.29</b>  | <b>8.57</b>                         | <b>8.73</b>  | <b>10.39</b> | <b>9.43</b>  |



| ADOBE TIPO | % PAJA ICHU |
|------------|-------------|
| A          | 0.00        |
| B          | 0.40        |
| C          | 0.80        |
| D          | 1.20        |

**NOTAS:**

- Norma E.080 - 2017 f' m: 6.12 kg-f/cm<sup>2</sup>.
- % Paja ichu con respecto al peso seco de tierra.

**Fig. Ensayo de Compresión Muretes (NT E. 080-2017)**

- a. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica a compresión de la unidad de adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).

**Medidas de unidad de adobe:**

**TIPO A: 0%**

| N°           | Largo (cm)  | Ancho (cm)  | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | PESO(kg)    |
|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 1            | 9.21        | 9.31        | 85.75                   | 8.42        | 1.53        |
| 2            | 9.26        | 9.31        | 86.21                   | 8.47        | 1.52        |
| 3            | 9.21        | 9.42        | 86.76                   | 9.47        | 1.52        |
| 4            | 9.21        | 9.32        | 85.84                   | 9.58        | 1.60        |
| 5            | 9.36        | 9.40        | 87.98                   | 8.25        | 1.50        |
| 6            | 9.47        | 9.21        | 87.22                   | 8.19        | 1.57        |
| 7            | 9.36        | 9.36        | 87.61                   | 8.32        | 1.56        |
| 8            | 9.42        | 9.36        | 88.17                   | 8.31        | 1.54        |
| 9            | 9.36        | 9.25        | 86.58                   | 8.47        | 1.56        |
| 10           | 9.31        | 9.35        | 87.05                   | 7.86        | 1.47        |
| 11           | 9.36        | 9.36        | 87.61                   | 8.42        | 1.56        |
| 12           | 9.69        | 9.21        | 89.24                   | 8.53        | 1.54        |
| $\Sigma$     | 112.22      | 111.86      | 1046.02                 | 102.29      | 18.45       |
| <b>Prom.</b> | <b>9.35</b> | <b>9.32</b> | <b>87.17</b>            | <b>8.52</b> | <b>1.54</b> |

**TIPO B: 0.4%**

| N°           | Largo (cm)  | Ancho (cm)  | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | PESO(kg)    |
|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 1            | 9.42        | 9.47        | 89.21                   | 8.58        | 1.70        |
| 2            | 9.53        | 9.56        | 91.11                   | 8.20        | 1.71        |
| 3            | 9.53        | 9.47        | 90.25                   | 9.71        | 1.67        |
| 4            | 9.42        | 9.49        | 89.40                   | 8.64        | 1.68        |
| 5            | 9.42        | 9.42        | 88.74                   | 8.53        | 1.67        |
| 6            | 9.42        | 9.47        | 89.21                   | 8.47        | 1.69        |
| 7            | 9.53        | 9.42        | 89.77                   | 8.64        | 1.69        |
| 8            | 9.32        | 9.58        | 89.29                   | 7.92        | 1.69        |
| 9            | 9.42        | 9.53        | 89.77                   | 8.53        | 1.67        |
| 10           | 9.42        | 9.53        | 89.77                   | 8.81        | 1.69        |
| 11           | 9.46        | 9.47        | 89.59                   | 8.36        | 1.70        |
| 12           | 9.44        | 9.49        | 89.65                   | 8.21        | 1.69        |
| $\Sigma$     | 113.33      | 113.90      | 1075.74                 | 102.60      | 20.24       |
| <b>Prom.</b> | <b>9.44</b> | <b>9.49</b> | <b>89.64</b>            | <b>8.55</b> | <b>1.69</b> |

**TIPO C: 0.8%**

| N°           | Largo (cm)  | Ancho (cm)  | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | PESO(kg)    |
|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 1            | 9.42        | 9.47        | 89.21                   | 8.82        | 1.59        |
| 2            | 9.32        | 9.53        | 88.82                   | 9.34        | 1.66        |
| 3            | 9.64        | 9.54        | 91.97                   | 9.08        | 1.58        |
| 4            | 9.42        | 9.56        | 90.06                   | 9.20        | 1.62        |
| 5            | 9.47        | 9.69        | 91.76                   | 9.58        | 1.64        |
| 6            | 9.36        | 9.53        | 89.20                   | 9.01        | 1.57        |
| 7            | 9.47        | 9.47        | 89.68                   | 9.14        | 1.61        |
| 8            | 9.53        | 9.36        | 89.20                   | 8.82        | 1.64        |
| 9            | 9.53        | 9.36        | 89.20                   | 9.08        | 1.60        |
| 10           | 9.31        | 9.31        | 86.68                   | 9.19        | 1.57        |
| 11           | 9.36        | 9.58        | 89.67                   | 8.82        | 1.62        |
| 12           | 9.47        | 9.42        | 89.21                   | 8.92        | 1.61        |
| Σ            | 113.30      | 113.82      | 1074.65                 | 109.00      | 19.28       |
| <b>Prom.</b> | <b>9.44</b> | <b>9.49</b> | <b>89.55</b>            | <b>9.08</b> | <b>1.61</b> |

**TIPO D: 1.2%**

| N°           | Largo (cm)  | Ancho (cm)  | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | PESO(kg)    |
|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 1            | 9.64        | 9.58        | 92.35                   | 9.14        | 1.56        |
| 2            | 9.53        | 9.58        | 91.30                   | 9.31        | 1.55        |
| 3            | 9.41        | 9.42        | 88.64                   | 9.08        | 1.54        |
| 4            | 9.47        | 9.69        | 91.76                   | 8.86        | 1.56        |
| 5            | 9.53        | 9.53        | 90.82                   | 9.08        | 1.54        |
| 6            | 9.32        | 9.53        | 88.82                   | 9.08        | 1.57        |
| 7            | 9.64        | 9.70        | 93.51                   | 9.65        | 1.55        |
| 8            | 9.64        | 9.64        | 92.93                   | 9.36        | 1.52        |
| 9            | 9.69        | 9.47        | 91.76                   | 9.08        | 1.57        |
| 10           | 9.53        | 9.43        | 89.87                   | 9.14        | 1.54        |
| 11           | 9.58        | 9.58        | 91.78                   | 9.20        | 1.55        |
| 12           | 9.58        | 9.47        | 90.72                   | 9.18        | 1.56        |
| Σ            | 114.56      | 114.62      | 1094.26                 | 110.16      | 18.60       |
| <b>Prom.</b> | <b>9.55</b> | <b>9.55</b> | <b>91.19</b>            | <b>9.18</b> | <b>1.55</b> |

- b. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica a compresión del murete de adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).

**Medidas del murete de adobe:**

**TIPO A: 0.0 %**

Norma  
E.080

| N°            | a1<br>(cm)   | a2<br>(cm)   | a prom<br>(cm) | b1<br>(cm)    | b2<br>(cm)    | b<br>prom<br>(cm) | h1<br>(cm)    | h2<br>(cm)    | hprom<br>(cm) | h prom/<br>a prom | h prom/<br>a prom |
|---------------|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1             | 14.80        | 15.00        | 14.90          | 30.00         | 30.30         | 30.15             | 43.90         | 43.80         | 43.85         | 3.00              | 2.94              |
| 2             | 14.50        | 14.90        | 14.70          | 30.00         | 29.90         | 29.95             | 43.80         | 44.20         | 44.00         | 3.00              | 2.99              |
| 3             | 14.90        | 14.80        | 14.85          | 30.30         | 29.90         | 30.10             | 45.60         | 45.70         | 45.65         | 3.00              | 3.07              |
| 4             | 14.70        | 15.00        | 14.85          | 30.20         | 30.60         | 30.40             | 43.80         | 43.70         | 43.75         | 3.00              | 2.95              |
| 5             | 14.90        | 14.90        | 14.90          | 30.50         | 30.30         | 30.40             | 44.00         | 44.10         | 44.05         | 3.00              | 2.96              |
| 6             | 14.90        | 14.80        | 14.85          | 30.40         | 29.80         | 30.10             | 44.80         | 44.90         | 44.85         | 3.00              | 3.02              |
| $\Sigma$      | <b>88.70</b> | <b>89.40</b> | <b>89.05</b>   | <b>181.40</b> | <b>180.80</b> | <b>181.10</b>     | <b>265.90</b> | <b>266.40</b> | <b>266.15</b> | <b>18.00</b>      | <b>17.93</b>      |
| <b>Prom..</b> | <b>14.78</b> | <b>14.90</b> | <b>14.84</b>   | <b>30.23</b>  | <b>30.13</b>  | <b>30.18</b>      | <b>44.32</b>  | <b>44.40</b>  | <b>44.36</b>  | <b>3.00</b>       | <b>2.99</b>       |

**TIPO B: 0.4%**

Norma  
E.080

| N°          | a1<br>(cm)   | a2<br>(cm)   | a prom<br>(cm) | b1<br>(cm)    | b2<br>(cm)    | b prom<br>(cm) | h1<br>(cm)    | h2<br>(cm)    | hprom<br>(cm) | h prom/<br>a prom | h prom/<br>a prom |
|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1           | 14.90        | 14.80        | 14.85          | 30.90         | 30.60         | 30.75          | 44.90         | 45.00         | 44.95         | 3.00              | 3.03              |
| 2           | 15.00        | 15.00        | 15.00          | 30.30         | 30.20         | 30.25          | 43.00         | 43.00         | 43.00         | 3.00              | 2.87              |
| 3           | 15.30        | 15.10        | 15.20          | 31.00         | 30.70         | 30.85          | 43.60         | 43.40         | 43.50         | 3.00              | 2.86              |
| 4           | 14.90        | 14.80        | 14.85          | 30.90         | 30.80         | 30.85          | 43.60         | 43.70         | 43.65         | 3.00              | 2.94              |
| 5           | 15.10        | 14.90        | 15.00          | 30.80         | 30.50         | 30.65          | 43.70         | 43.60         | 43.65         | 3.00              | 2.91              |
| 6           | 15.00        | 15.00        | 15.00          | 30.70         | 30.80         | 30.75          | 43.00         | 42.80         | 42.90         | 3.00              | 2.86              |
| $\Sigma$    | <b>90.20</b> | <b>89.60</b> | <b>89.90</b>   | <b>184.60</b> | <b>183.60</b> | <b>184.10</b>  | <b>261.80</b> | <b>261.50</b> | <b>261.65</b> | <b>18.00</b>      | <b>17.46</b>      |
| <b>Prom</b> | <b>15.03</b> | <b>14.93</b> | <b>14.98</b>   | <b>30.77</b>  | <b>30.60</b>  | <b>30.68</b>   | <b>43.63</b>  | <b>43.58</b>  | <b>43.61</b>  | <b>3.00</b>       | <b>2.91</b>       |

**TIPO C: 0.8%**

Norma  
E.080

| N°          | a1<br>(cm)   | a2<br>(cm)   | a prom<br>(cm) | b1<br>(cm)    | b2<br>(cm)    | b<br>prom<br>(cm) | h1<br>(cm)    | h2<br>(cm)    | hprom<br>(cm) | h prom/<br>a prom | h prom/<br>a prom |
|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1           | 15.10        | 15.20        | 15.15          | 30.90         | 30.80         | 30.85             | 44.10         | 44.00         | 44.05         | 3.00              | 2.91              |
| 2           | 15.40        | 15.30        | 15.35          | 30.70         | 30.70         | 30.70             | 43.80         | 43.90         | 43.85         | 3.00              | 2.86              |
| 3           | 15.00        | 15.00        | 15.00          | 30.80         | 30.90         | 30.85             | 44.70         | 44.60         | 44.65         | 3.00              | 2.98              |
| 4           | 15.20        | 15.30        | 15.25          | 30.90         | 30.90         | 30.90             | 45.30         | 45.50         | 45.40         | 3.00              | 2.98              |
| 5           | 14.90        | 15.00        | 14.95          | 30.80         | 30.90         | 30.80             | 45.20         | 45.10         | 45.15         | 3.00              | 3.02              |
| 6           | 15.00        | 14.90        | 14.95          | 30.80         | 30.75         | 30.70             | 45.60         | 45.50         | 45.55         | 3.00              | 3.05              |
| $\Sigma$    | <b>90.60</b> | <b>90.70</b> | <b>90.65</b>   | <b>184.90</b> | <b>184.95</b> | <b>184.80</b>     | <b>268.70</b> | <b>268.60</b> | <b>268.65</b> | <b>18.00</b>      | <b>17.78</b>      |
| <b>Prom</b> | <b>15.10</b> | <b>15.12</b> | <b>15.11</b>   | <b>30.82</b>  | <b>30.83</b>  | <b>30.80</b>      | <b>44.78</b>  | <b>44.77</b>  | <b>44.78</b>  | <b>3.00</b>       | <b>2.96</b>       |

**TIPO D: 1.2 %**Norma  
E.080

| N°          | a1<br>(cm)   | a2<br>(cm)   | a<br>prom<br>(cm) | b1<br>(cm)    | b2<br>(cm)    | b<br>prom<br>(cm) | h1<br>(cm)    | h2<br>(cm)    | h<br>prom<br>(cm) | h<br>prom/<br>a prom | h<br>prom/<br>a prom |
|-------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| 1           | 14.9         | 15.4         | 15.15             | 30.8          | 30.7          | 30.75             | 46.8          | 46.8          | 46.80             | 3                    | 3.09                 |
| 2           | 14.90        | 14.80        | 14.85             | 31.00         | 30.95         | 30.98             | 45.60         | 45.80         | 45.70             | 3.00                 | 3.08                 |
| 3           | 15.00        | 15.20        | 15.10             | 30.80         | 30.80         | 30.80             | 45.10         | 45.20         | 45.15             | 3.00                 | 2.99                 |
| 4           | 14.80        | 14.80        | 14.80             | 30.30         | 30.70         | 30.80             | 45.40         | 45.50         | 45.45             | 3.00                 | 3.07                 |
| 5           | 14.70        | 14.80        | 14.75             | 30.50         | 30.70         | 30.90             | 45.20         | 45.50         | 45.35             | 3.00                 | 3.07                 |
| 6           | 17.70        | 14.90        | 16.30             | 30.70         | 30.80         | 30.75             | 45.60         | 45.00         | 45.30             | 3.00                 | 2.78                 |
| $\Sigma$    | <b>92.00</b> | <b>89.90</b> | <b>90.95</b>      | <b>184.10</b> | <b>184.65</b> | <b>184.98</b>     | <b>273.70</b> | <b>273.80</b> | <b>273.75</b>     | <b>18.00</b>         | <b>18.08</b>         |
| <b>Prom</b> | <b>15.33</b> | <b>14.98</b> | <b>15.16</b>      | <b>30.68</b>  | <b>30.78</b>  | <b>30.83</b>      | <b>45.62</b>  | <b>45.63</b>  | <b>45.63</b>      | <b>3.00</b>          | <b>3.01</b>          |

- c. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica a tracción del adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).

Medidas

**TIPO A: 0.0 %**

| N°          | D1 inf. (cm) | D2 sup (cm)  | D prom<br>(cm) | h1 (cm)      | h2 (cm)      | h prom<br>(cm) | Peso (kg)   |
|-------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| 1           | 14.35        | 14.47        | 14.41          | 28.40        | 28.50        | 28.45          | 9.10        |
| 2           | 14.53        | 14.46        | 14.50          | 28.40        | 28.40        | 28.40          | 9.09        |
| 3           | 14.53        | 14.20        | 14.37          | 28.01        | 28.6         | 28.31          | 9.08        |
| 4           | 14.36        | 14.20        | 14.28          | 28.01        | 28.25        | 28.13          | 8.88        |
| 5           | 14.21        | 14.25        | 14.23          | 28.40        | 27.70        | 28.05          | 9.05        |
| 6           | 14.47        | 14.25        | 14.36          | 28.60        | 28.70        | 28.65          | 9.11        |
| $\Sigma$    | 86.45        | 85.83        | 86.14          | 169.82       | 170.15       | 169.99         | 54.31       |
| <b>Prom</b> | <b>14.41</b> | <b>14.31</b> | <b>14.36</b>   | <b>28.30</b> | <b>28.36</b> | <b>28.33</b>   | <b>9.05</b> |

**TIPO B: 0.4 %**

| N°          | D1 inf. (cm) | D2 sup (cm)  | D prom<br>(cm) | h1 (cm)      | h2 (cm)      | h prom<br>(cm) | Peso (kg)   |
|-------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| 1           | 13.81        | 14.55        | 14.18          | 27.90        | 27.80        | 27.85          | 7.98        |
| 2           | 13.97        | 14.08        | 14.03          | 26.80        | 26.50        | 26.65          | 7.84        |
| 3           | 13.74        | 13.97        | 13.86          | 26.85        | 27.40        | 27.13          | 7.71        |
| 4           | 13.47        | 13.97        | 13.72          | 27.10        | 27.00        | 27.05          | 7.87        |
| 5           | 13.92        | 13.53        | 13.73          | 26.90        | 27.30        | 27.10          | 7.80        |
| 6           | 13.70        | 13.71        | 13.71          | 27.70        | 27.25        | 27.48          | 7.92        |
| $\Sigma$    | 82.61        | 83.81        | 83.21          | 163.25       | 163.25       | 163.25         | 47.12       |
| <b>Prom</b> | <b>13.77</b> | <b>13.97</b> | <b>13.87</b>   | <b>27.21</b> | <b>27.21</b> | <b>27.21</b>   | <b>7.85</b> |

**TIPO C: 0.8 %**

| N°          | D1 inf. (cm) | D2 sup (cm)  | D prom (cm)  | h1 (cm)      | h2 (cm)      | h prom (cm)  | Peso (kg)   |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1           | 14.19        | 14.16        | 14.18        | 28.70        | 28.60        | 28.65        | 8.39        |
| 2           | 14.42        | 14.31        | 14.37        | 28.40        | 28.80        | 28.60        | 8.22        |
| 3           | 14.36        | 14.64        | 14.50        | 28.60        | 28.30        | 28.45        | 8.47        |
| 4           | 14.31        | 14.31        | 14.31        | 27.80        | 28.10        | 27.95        | 8.32        |
| 5           | 13.97        | 14.36        | 14.17        | 28.40        | 28.30        | 28.35        | 8.52        |
| 6           | 14.08        | 14.53        | 14.31        | 28.40        | 28.23        | 28.32        | 8.25        |
| $\Sigma$    | 85.33        | 86.31        | 85.82        | 170.30       | 170.33       | 170.32       | 50.16       |
| <b>Prom</b> | <b>14.22</b> | <b>14.39</b> | <b>14.30</b> | <b>28.38</b> | <b>28.39</b> | <b>28.39</b> | <b>8.36</b> |

**TIPO D: 1.2 %**

| N°          | D1 inf. (cm) | D2 sup (cm)  | D prom (cm)  | h1 (cm)      | h2 (cm)      | h prom (cm)  | Peso (kg)   |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1           | 14.58        | 14.69        | 14.64        | 28.50        | 28.40        | 28.45        | 8.59        |
| 2           | 14.00        | 14.42        | 14.21        | 28.00        | 28.80        | 28.40        | 7.90        |
| 3           | 14.47        | 14.42        | 14.45        | 29.00        | 29.50        | 29.25        | 7.56        |
| 4           | 14.19        | 14.64        | 14.42        | 29.50        | 29.40        | 29.45        | 7.93        |
| 5           | 14.53        | 14.36        | 14.45        | 28.30        | 28.30        | 28.30        | 8.37        |
| 6           | 14.35        | 14.51        | 14.43        | 28.66        | 28.88        | 28.77        | 8.07        |
| $\Sigma$    | 86.12        | 87.04        | 86.58        | 171.96       | 173.28       | 172.62       | 48.41       |
| <b>Prom</b> | <b>14.35</b> | <b>14.51</b> | <b>14.43</b> | <b>28.66</b> | <b>28.88</b> | <b>28.77</b> | <b>8.07</b> |

- d. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica del mortero a la tracción de adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).

Medidas:

**TIPO A: 0.0 %**

| N°          | a1 (cm)       | a2 (cm)       | a prom (cm)   | b1 (cm)       | b2 (cm)       | b prom (cm)   |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1           | 19.60         | 19.10         | 19.35         | 26.70         | 26.50         | 26.60         |
| 2           | 19.10         | 19.00         | 19.05         | 26.40         | 26.50         | 26.45         |
| 3           | 19.10         | 19.20         | 19.15         | 26.10         | 26.40         | 26.25         |
| 4           | 19.20         | 19.10         | 19.15         | 26.70         | 26.60         | 26.65         |
| 5           | 19.00         | 19.20         | 19.10         | 26.60         | 26.70         | 26.65         |
| 6           | 19.10         | 19.20         | 19.15         | 26.70         | 26.50         | 26.60         |
| $\Sigma$    | <b>115.10</b> | <b>114.80</b> | <b>114.95</b> | <b>159.20</b> | <b>159.20</b> | <b>159.20</b> |
| <b>Prom</b> | <b>19.18</b>  | <b>19.13</b>  | <b>19.16</b>  | <b>26.53</b>  | <b>26.53</b>  | <b>26.53</b>  |

**TIPO B: 0.4 %**

| N°          | a1 (cm)      | a2 (cm)      | a prom (cm)  | b1 (cm)      | b2 (cm)      | b prom (cm)  |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1           | 19.10        | 19.20        | 19.15        | 27.00        | 27.10        | 27.05        |
| 2           | 19.30        | 19.30        | 19.30        | 26.80        | 26.90        | 26.85        |
| 3           | 19.20        | 19.20        | 19.20        | 26.70        | 26.6         | 26.65        |
| 4           | 19.30        | 19.00        | 19.15        | 26.50        | 26.50        | 26.50        |
| 5           | 19.20        | 19.10        | 19.15        | 26.10        | 26.20        | 26.15        |
| 6           | 19.20        | 19.10        | 19.15        | 26.60        | 26.70        | 26.65        |
| $\Sigma$    | 115.30       | 114.90       | 115.10       | 159.70       | 160.00       | 159.85       |
| <b>Prom</b> | <b>19.22</b> | <b>19.15</b> | <b>19.18</b> | <b>26.62</b> | <b>26.67</b> | <b>26.64</b> |

**TIPO C: 0.8 %**

| N°          | a1 (cm)      | a2 (cm)      | a prom (cm)  | b1 (cm)      | b2 (cm)      | b prom (cm)  |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1           | 19.20        | 19.30        | 19.25        | 26.90        | 27.20        | 27.05        |
| 2           | 19.20        | 19.20        | 19.20        | 26.60        | 26.70        | 26.65        |
| 3           | 19.40        | 19.30        | 19.35        | 26.80        | 26.5         | 26.65        |
| 4           | 19.10        | 19.00        | 19.05        | 26.70        | 26.60        | 26.65        |
| 5           | 19.10        | 19.20        | 19.15        | 26.80        | 26.70        | 26.75        |
| 6           | 19.40        | 19.20        | 19.30        | 26.80        | 26.60        | 26.70        |
| $\Sigma$    | 115.40       | 115.20       | 115.30       | 160.60       | 160.30       | 160.45       |
| <b>Prom</b> | <b>19.23</b> | <b>19.20</b> | <b>19.22</b> | <b>26.77</b> | <b>26.72</b> | <b>26.74</b> |

**TIPO D: 1.2 %**

| N°          | a1 (cm)      | a2 (cm)      | a prom (cm)  | b1 (cm)      | b2 (cm)      | b prom (cm)  |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1           | 18.90        | 19.00        | 18.95        | 27.10        | 27.10        | 27.10        |
| 2           | 19.00        | 19.10        | 19.05        | 27.00        | 26.90        | 26.95        |
| 3           | 19.40        | 19.30        | 19.35        | 27.00        | 26.90        | 26.95        |
| 4           | 19.30        | 19.30        | 19.30        | 26.70        | 26.80        | 26.75        |
| 5           | 19.20        | 19.30        | 19.25        | 26.90        | 26.90        | 26.90        |
| 6           | 19.20        | 19.30        | 19.25        | 26.60        | 26.70        | 26.65        |
| $\Sigma$    | 115.00       | 115.30       | 115.15       | 161.30       | 161.30       | 161.30       |
| <b>Prom</b> | <b>19.17</b> | <b>19.22</b> | <b>19.19</b> | <b>26.88</b> | <b>26.88</b> | <b>26.88</b> |

- e. Datos de campo para hallar la resistencia mecánica a flexión del adobe sin paja (A) y con paja (B, C y D).

Medidas:

TIPO A: 0%

| N°          | Largo (cm)    | Ancho (cm)    | Altura (cm)  | Peso(kg)     |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1           | 38.80         | 19.40         | 9.42         | 14.17        |
| 2           | 39.80         | 19.30         | 9.80         | 13.61        |
| 3           | 38.80         | 19.50         | 9.90         | 13.72        |
| 4           | 38.80         | 19.60         | 9.50         | 13.68        |
| 5           | 38.70         | 19.50         | 9.60         | 13.67        |
| 6           | 38.98         | 19.46         | 9.64         | 13.77        |
| $\Sigma$    | <b>233.88</b> | <b>116.76</b> | <b>57.86</b> | <b>82.60</b> |
| <b>Prom</b> | <b>38.98</b>  | <b>19.46</b>  | <b>9.64</b>  | <b>13.77</b> |

TIPO B: 0.4%

| N°          | Largo (cm)    | Ancho (cm)    | Altura (cm)  | Peso(kg)     |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1           | 38.60         | 19.00         | 9.95         | 13.49        |
| 2           | 38.40         | 19.40         | 9.80         | 13.39        |
| 3           | 39.10         | 19.40         | 9.90         | 13.37        |
| 4           | 38.60         | 19.10         | 9.85         | 14.09        |
| 5           | 38.40         | 19.20         | 9.90         | 13.90        |
| 6           | 38.70         | 19.20         | 10.00        | 14.73        |
| $\Sigma$    | <b>231.80</b> | <b>115.30</b> | <b>59.40</b> | <b>82.97</b> |
| <b>Prom</b> | <b>38.63</b>  | <b>19.22</b>  | <b>9.90</b>  | <b>13.83</b> |

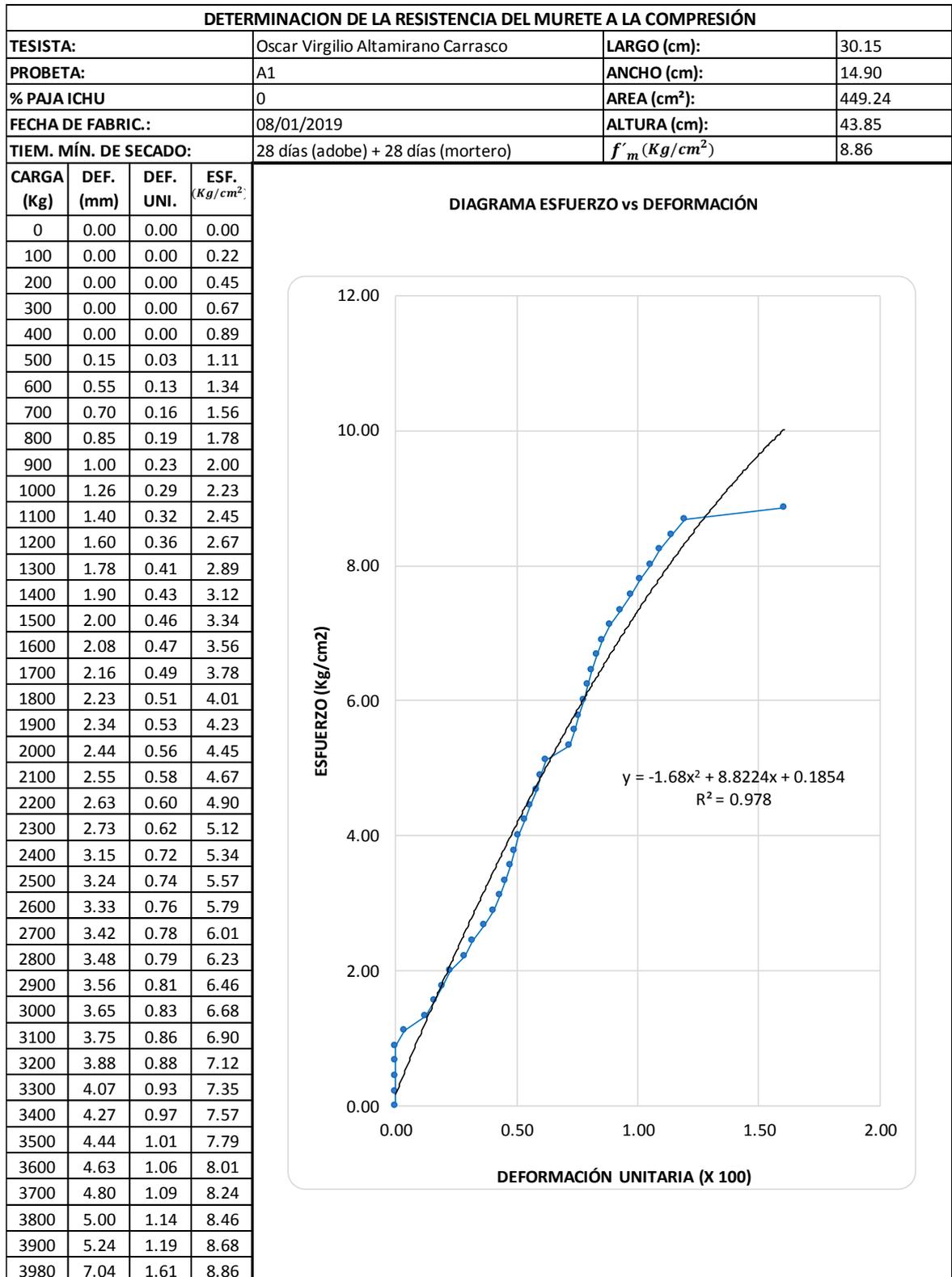
TIPO C: 0.8%

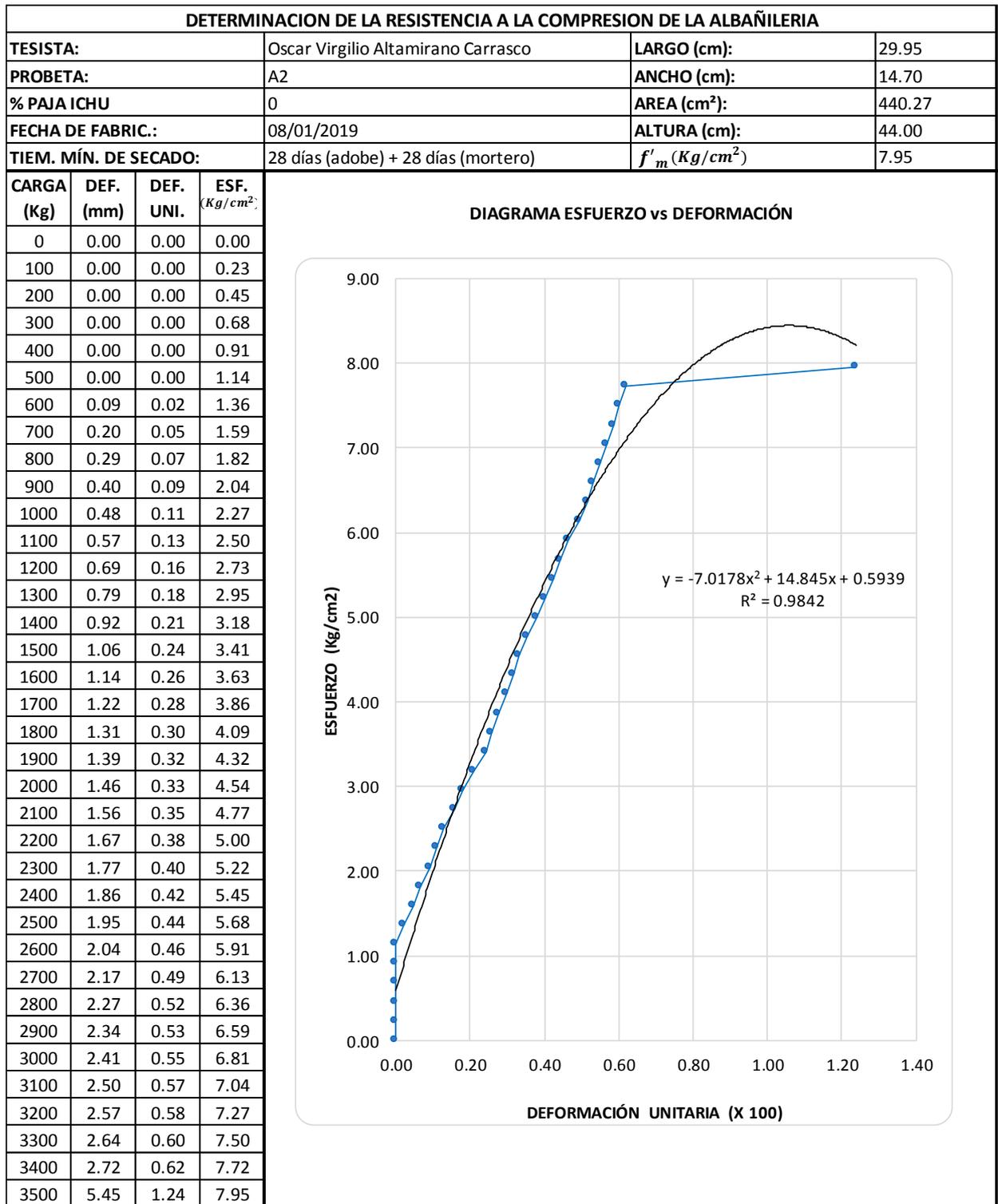
| N°          | Largo (cm)    | Ancho (cm)    | Altura (cm)  | Peso(kg)     |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1           | 38.90         | 19.65         | 9.95         | 13.92        |
| 2           | 38.80         | 19.70         | 9.90         | 13.89        |
| 3           | 39.90         | 19.50         | 9.70         | 13.89        |
| 4           | 39.00         | 19.30         | 10.00        | 14.21        |
| 5           | 38.10         | 19.60         | 9.90         | 13.67        |
| 6           | 38.90         | 19.40         | 9.70         | 14.25        |
| $\Sigma$    | <b>233.60</b> | <b>117.15</b> | <b>59.15</b> | <b>83.82</b> |
| <b>Prom</b> | <b>38.93</b>  | <b>19.53</b>  | <b>9.86</b>  | <b>13.97</b> |

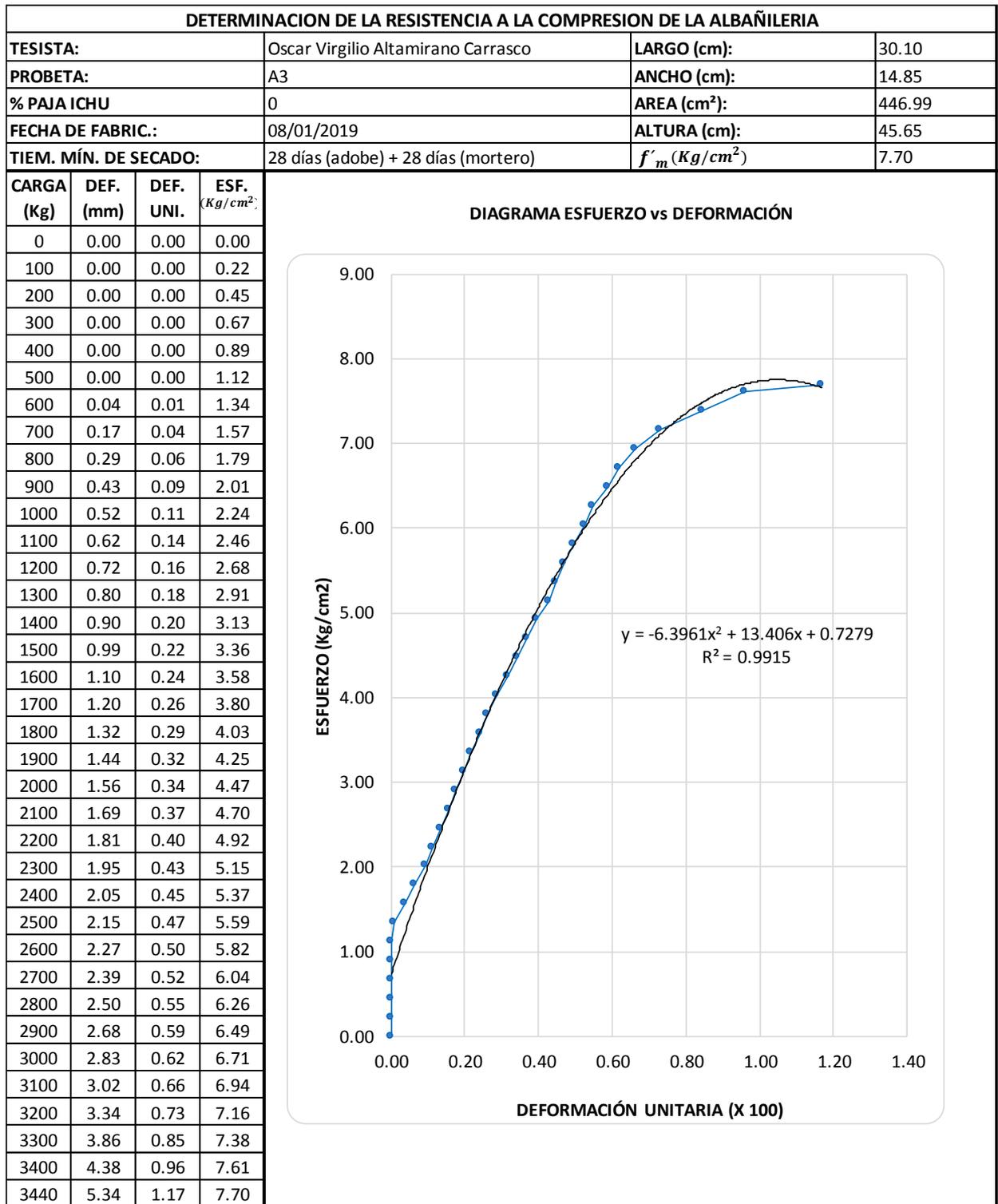
TIPO D: 1.2%

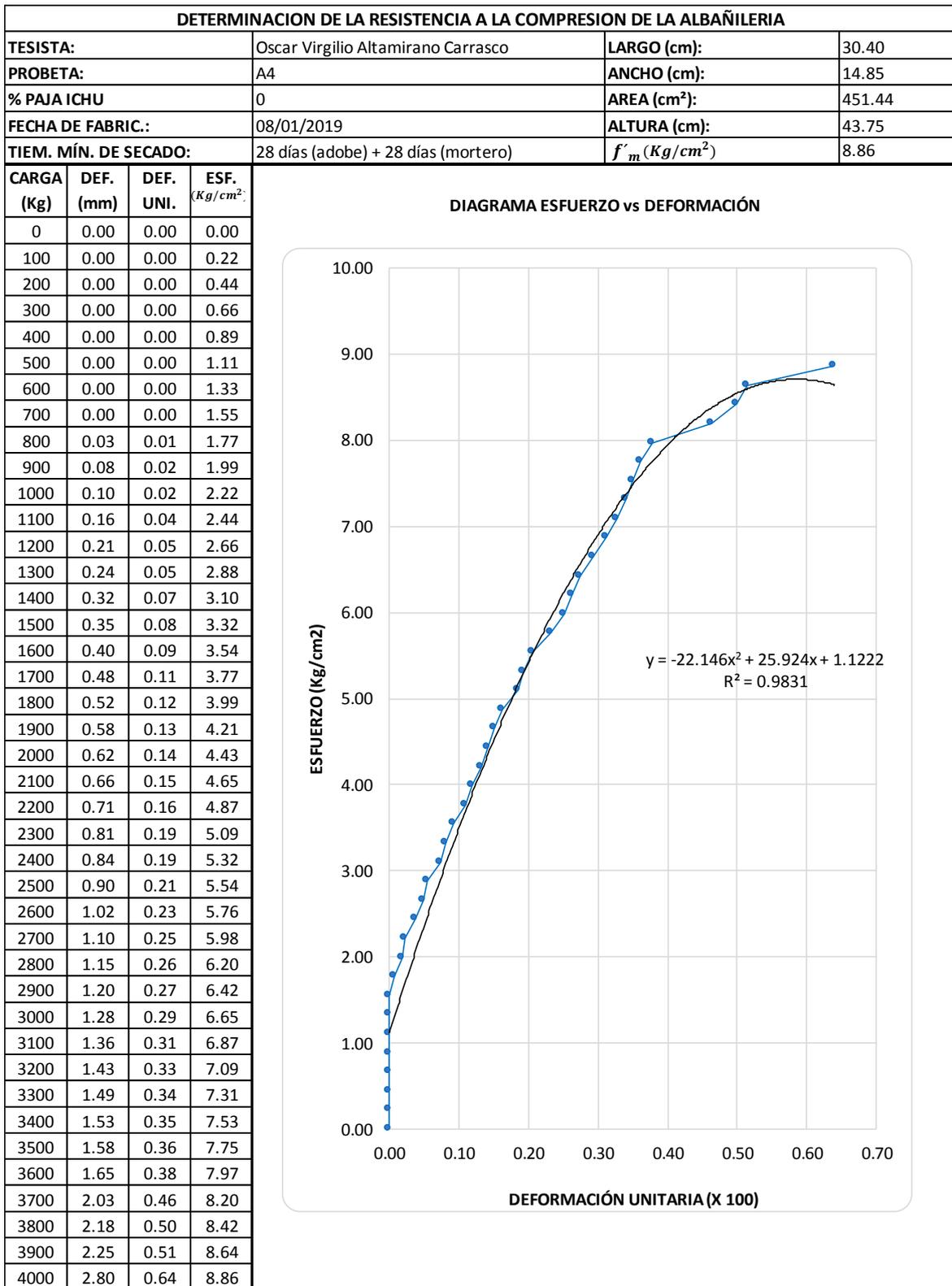
| N°          | Largo (cm)    | Ancho (cm)    | Altura (cm)  | Peso(kg)     |
|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1           | 39.00         | 19.50         | 9.95         | 13.33        |
| 2           | 39.00         | 19.60         | 10.00        | 13.83        |
| 3           | 39.90         | 19.50         | 9.95         | 13.62        |
| 4           | 39.00         | 19.40         | 9.80         | 13.97        |
| 5           | 39.00         | 19.65         | 9.95         | 13.58        |
| 6           | 39.10         | 19.80         | 10.00        | 13.38        |
| $\Sigma$    | <b>235.00</b> | <b>117.45</b> | <b>59.65</b> | <b>81.69</b> |
| <b>Prom</b> | <b>39.17</b>  | <b>19.58</b>  | <b>9.94</b>  | <b>13.61</b> |

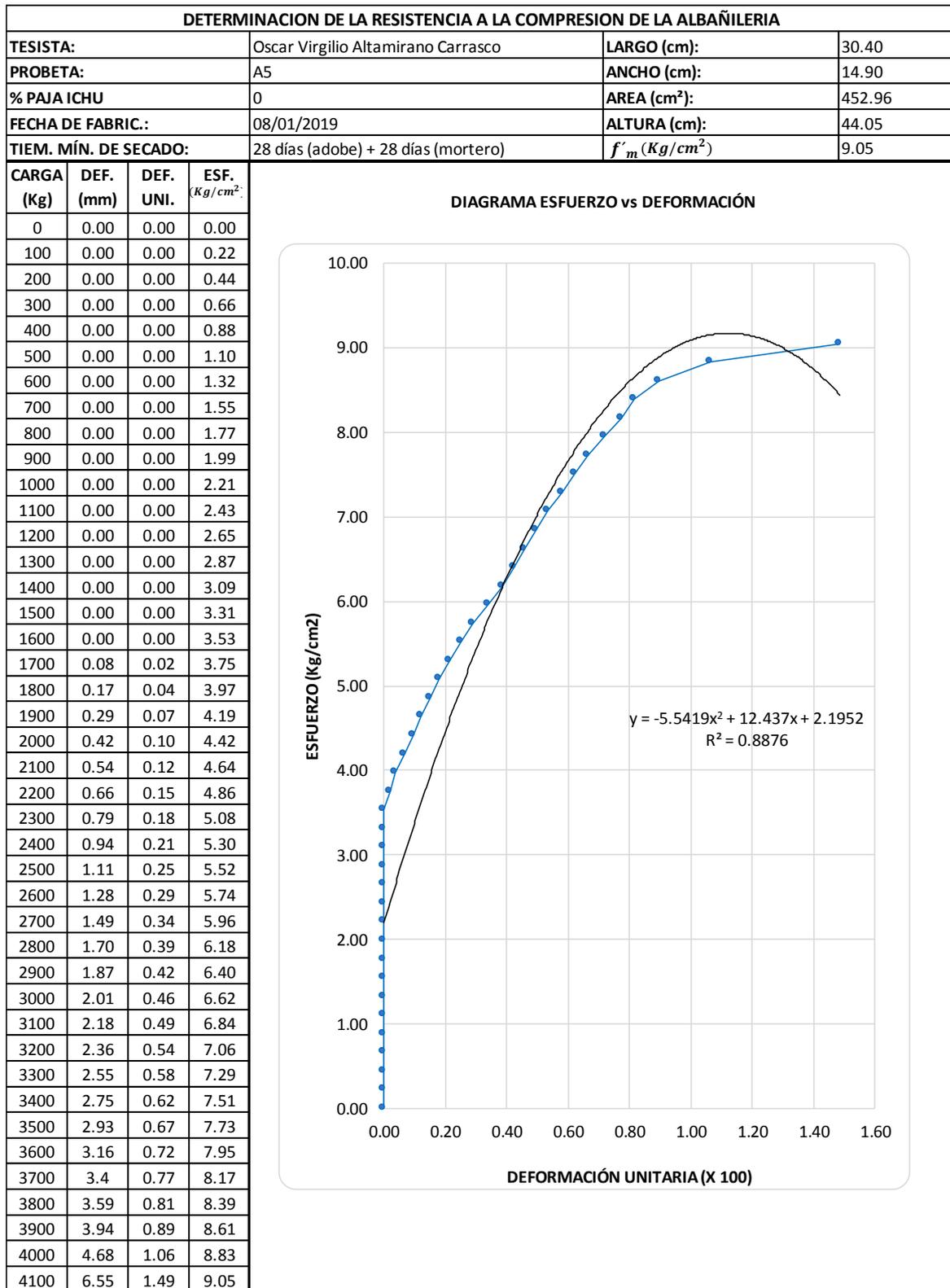
**B. Gráficos esfuerzo vs Deformación de muretes de adobe sin paja (A) y de muretes de adobe con paja (B, C y D).**

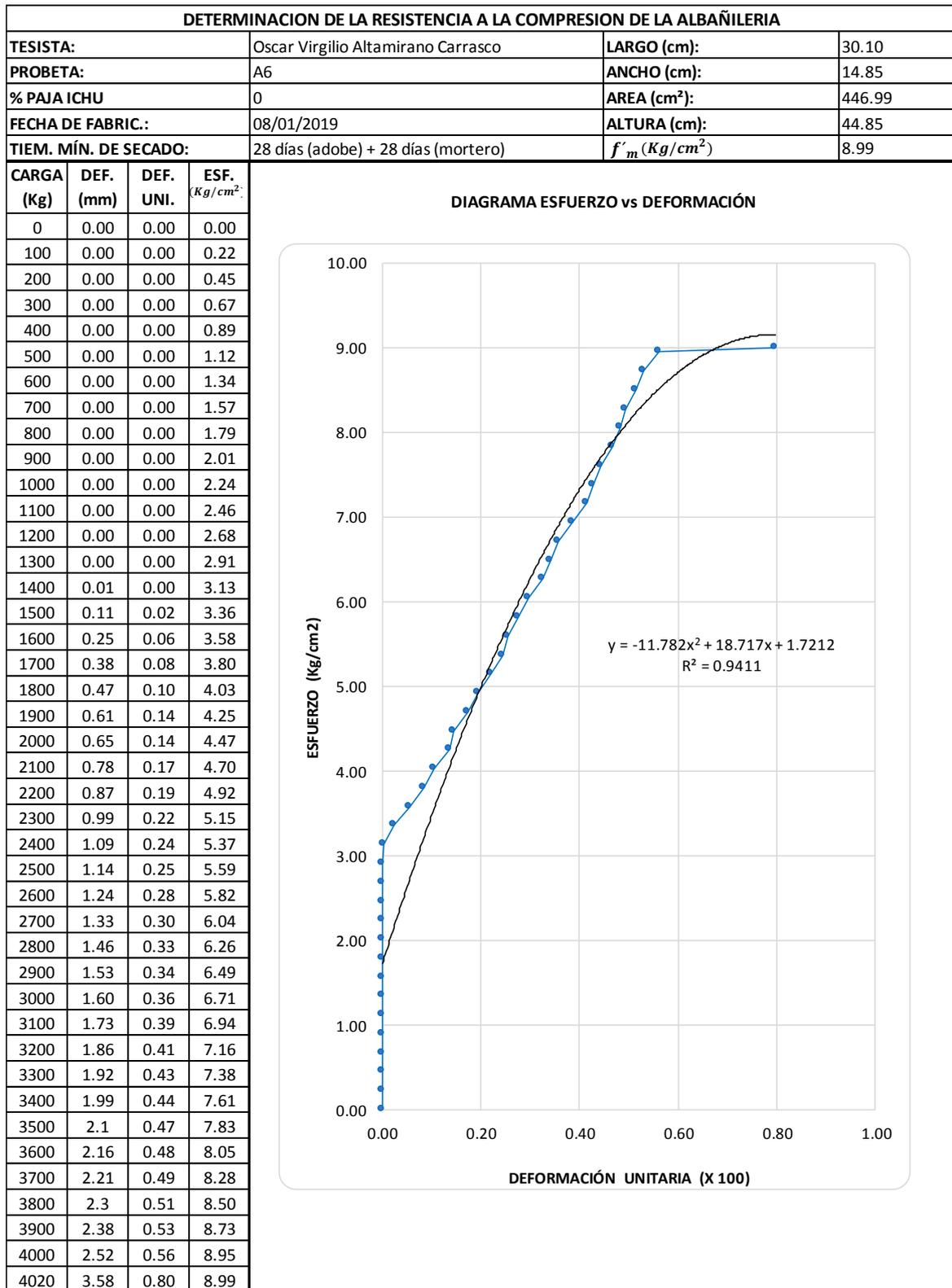


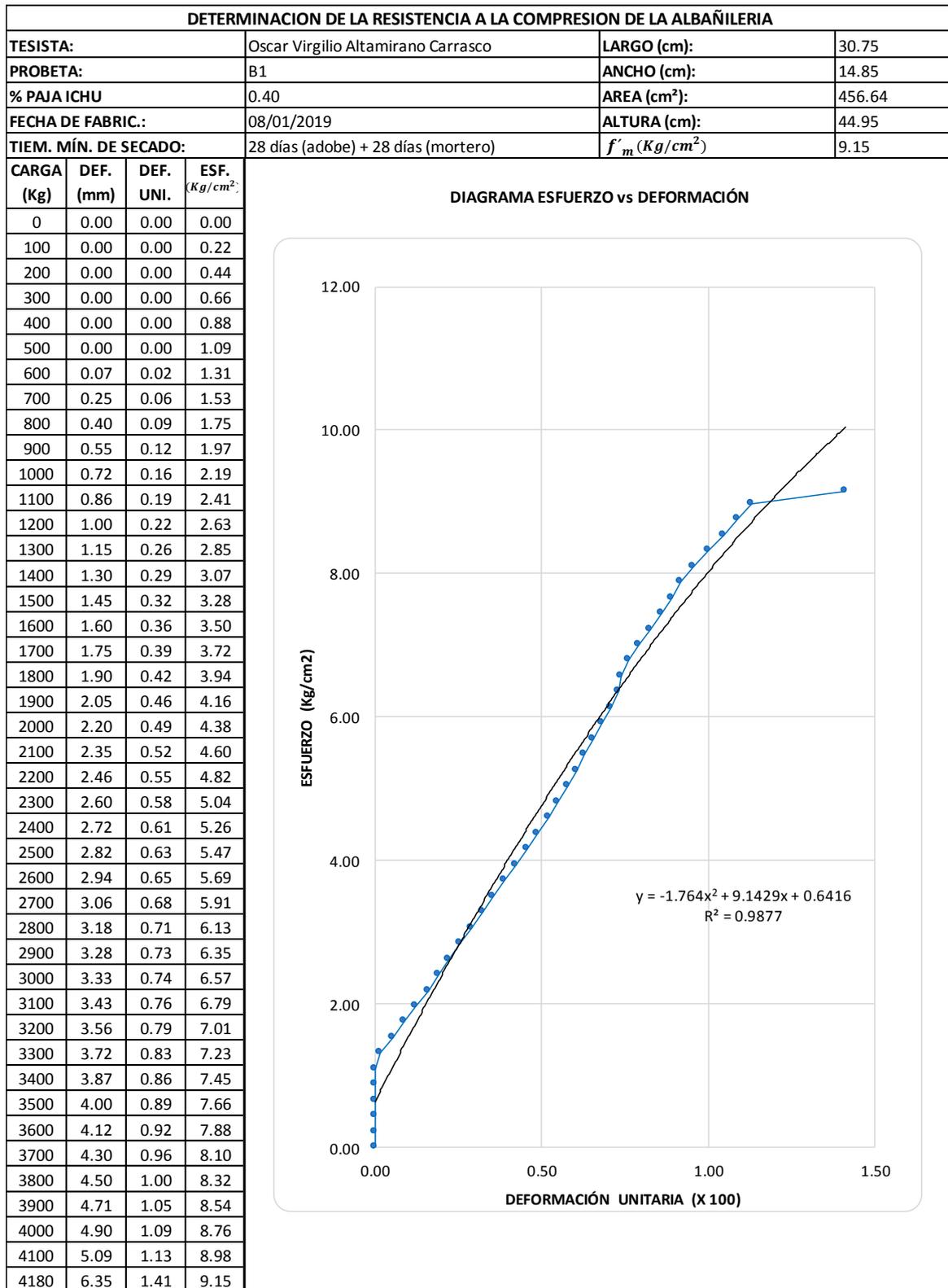


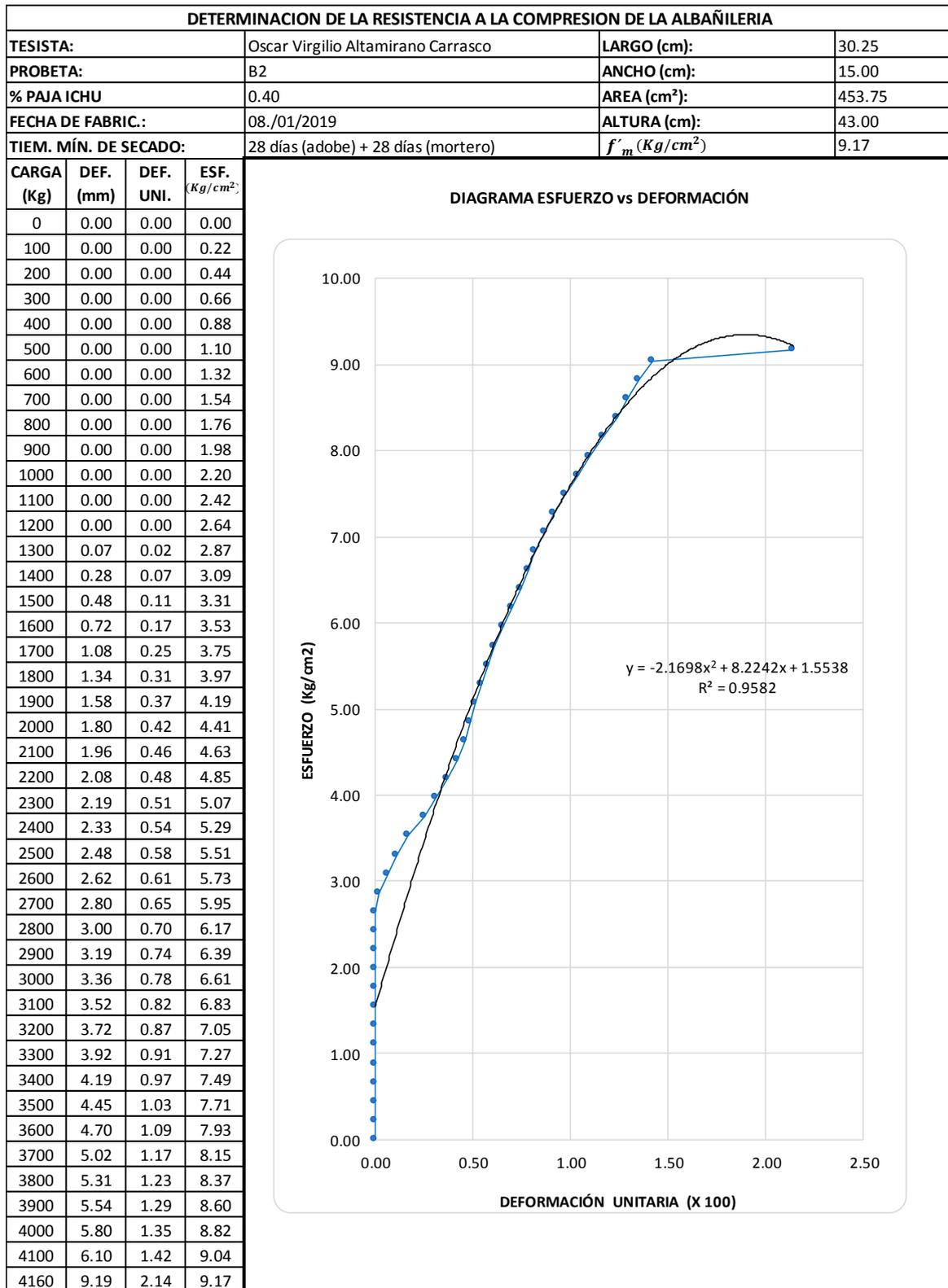


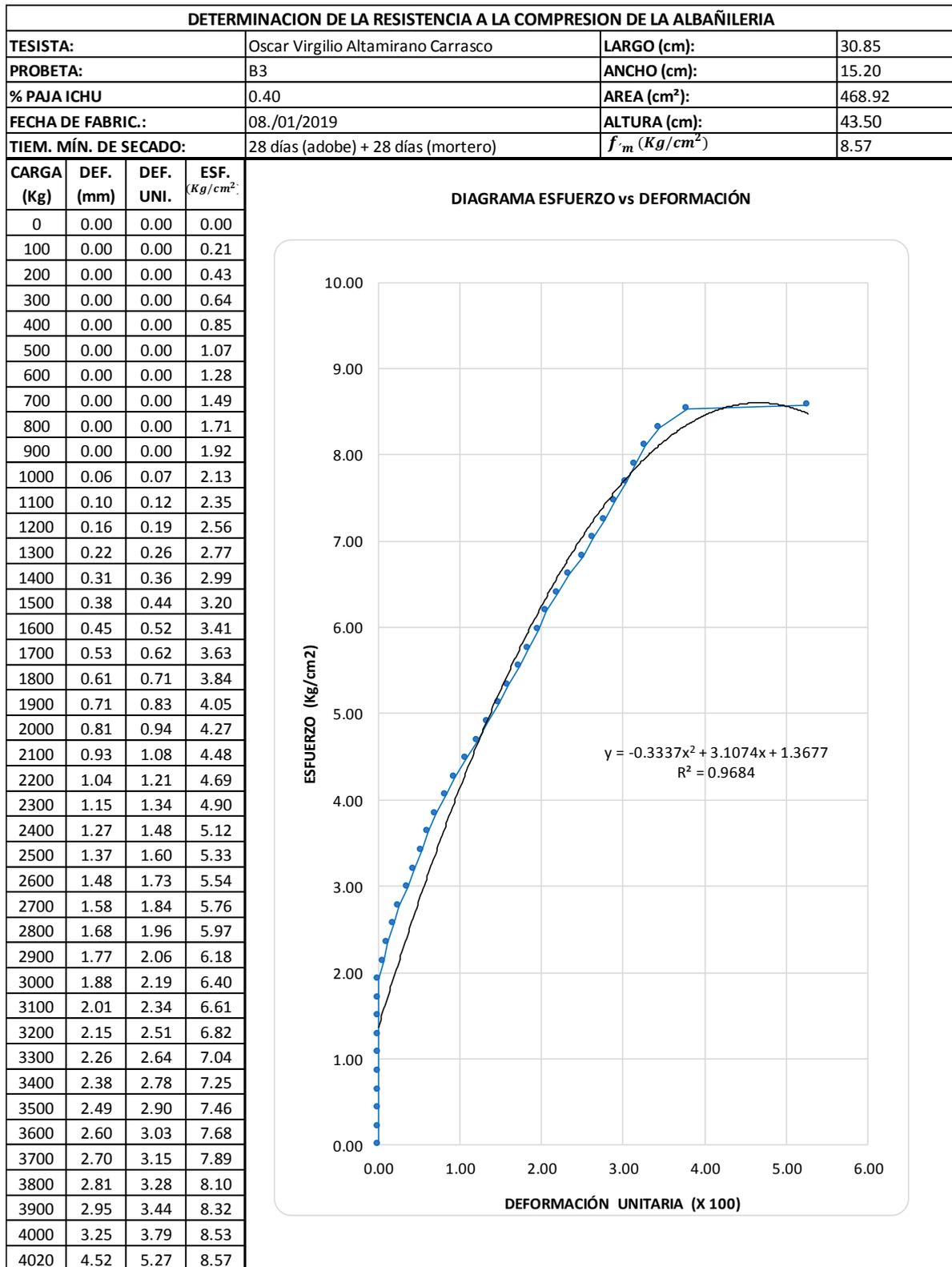


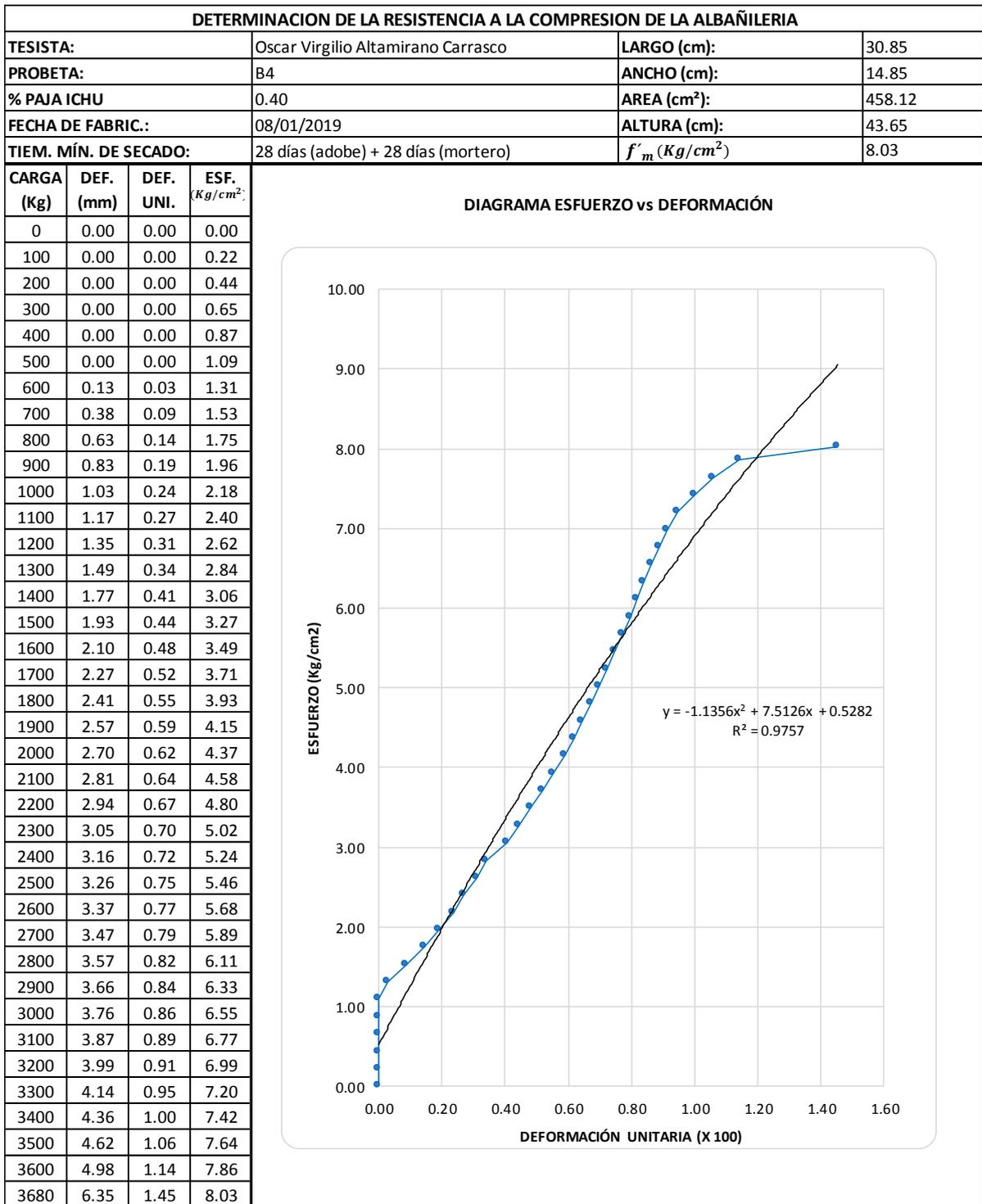


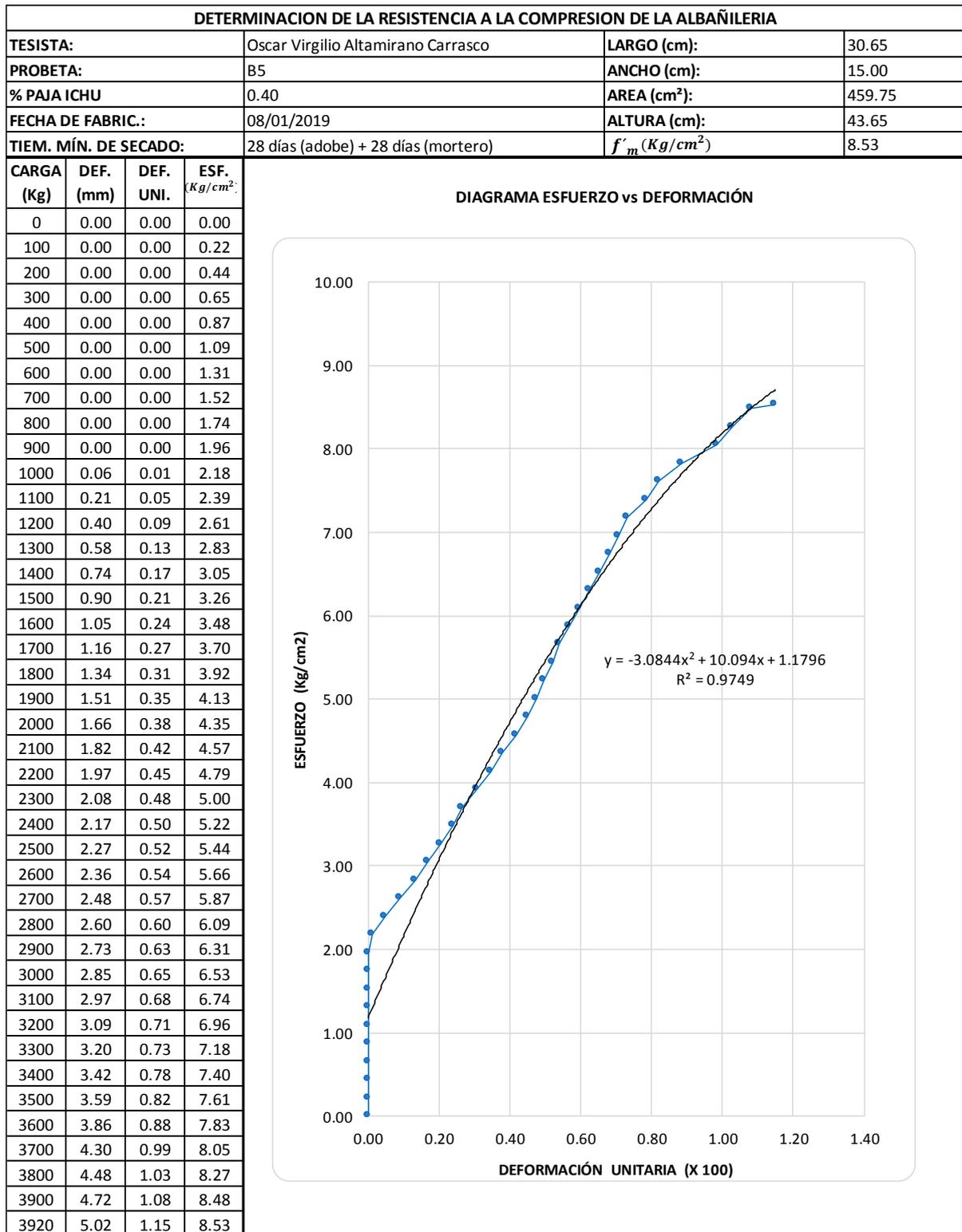


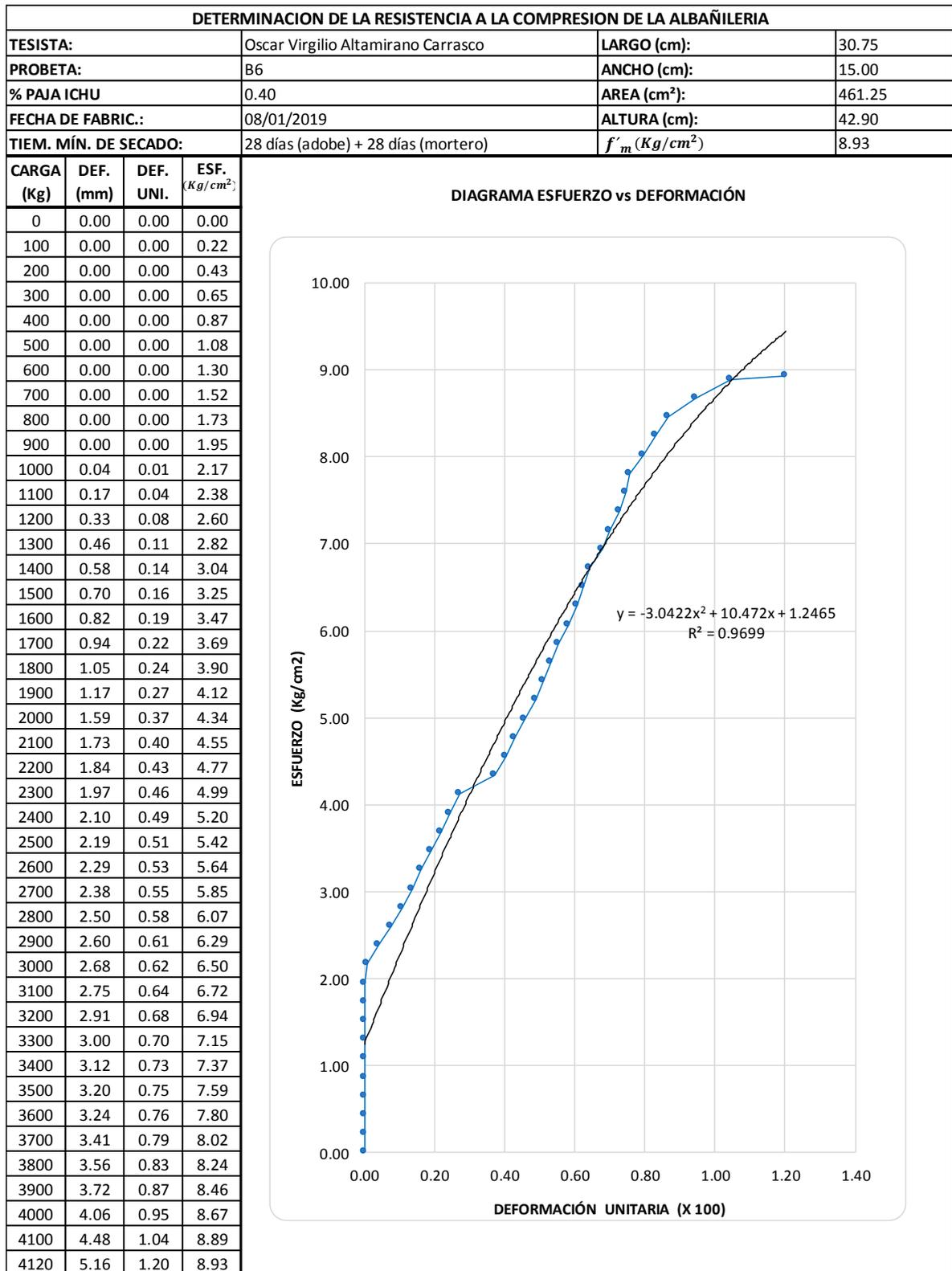


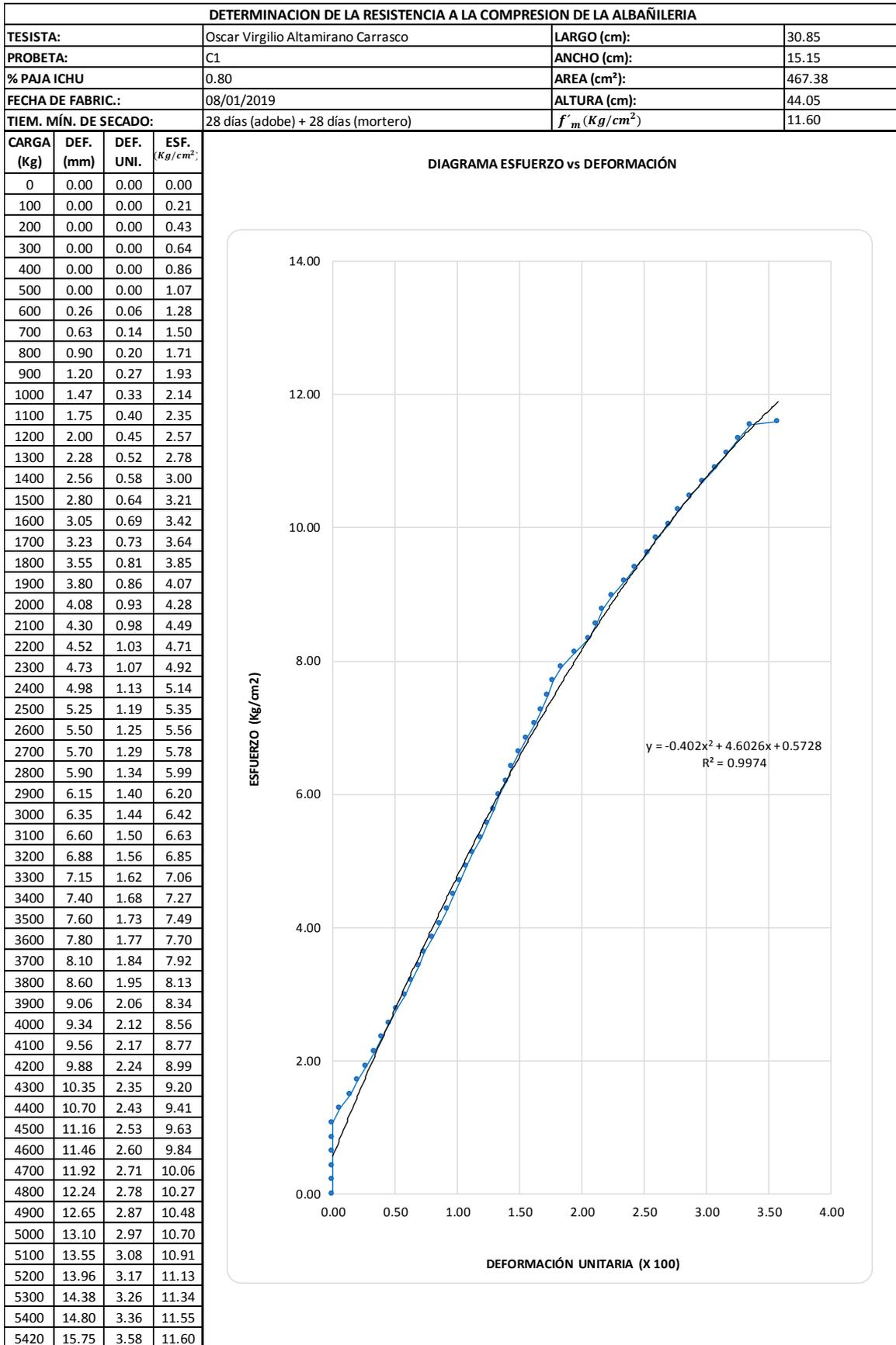


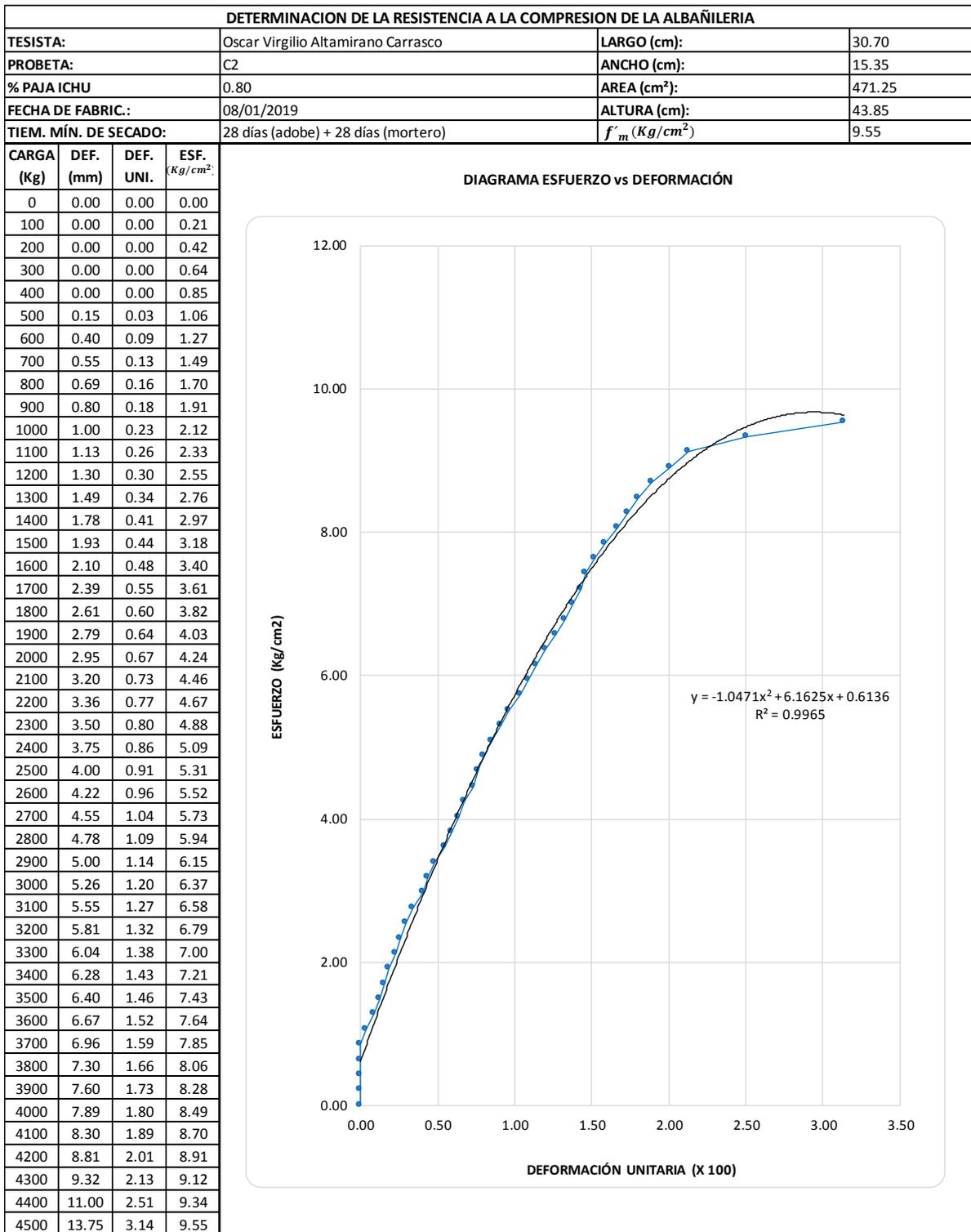


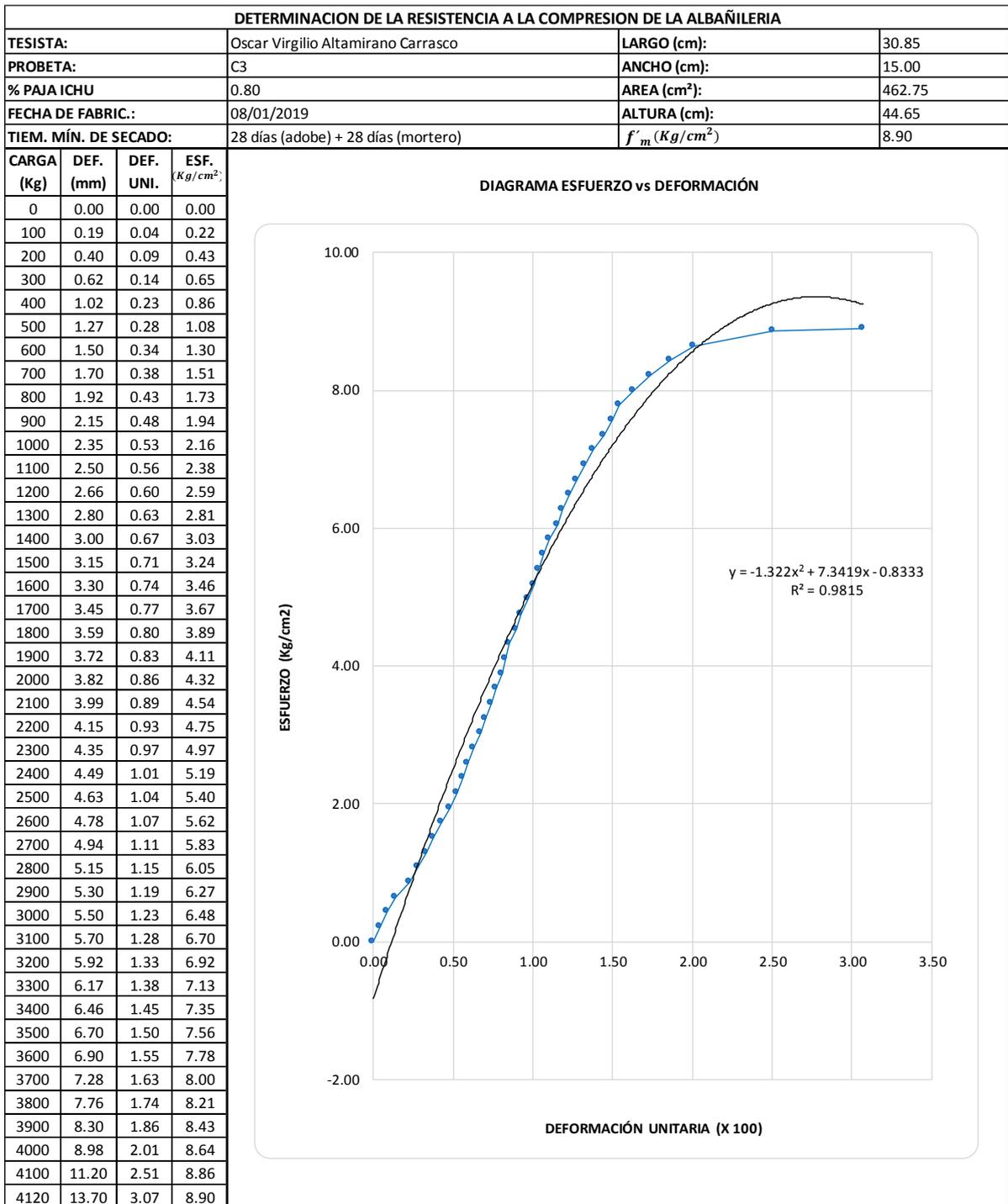


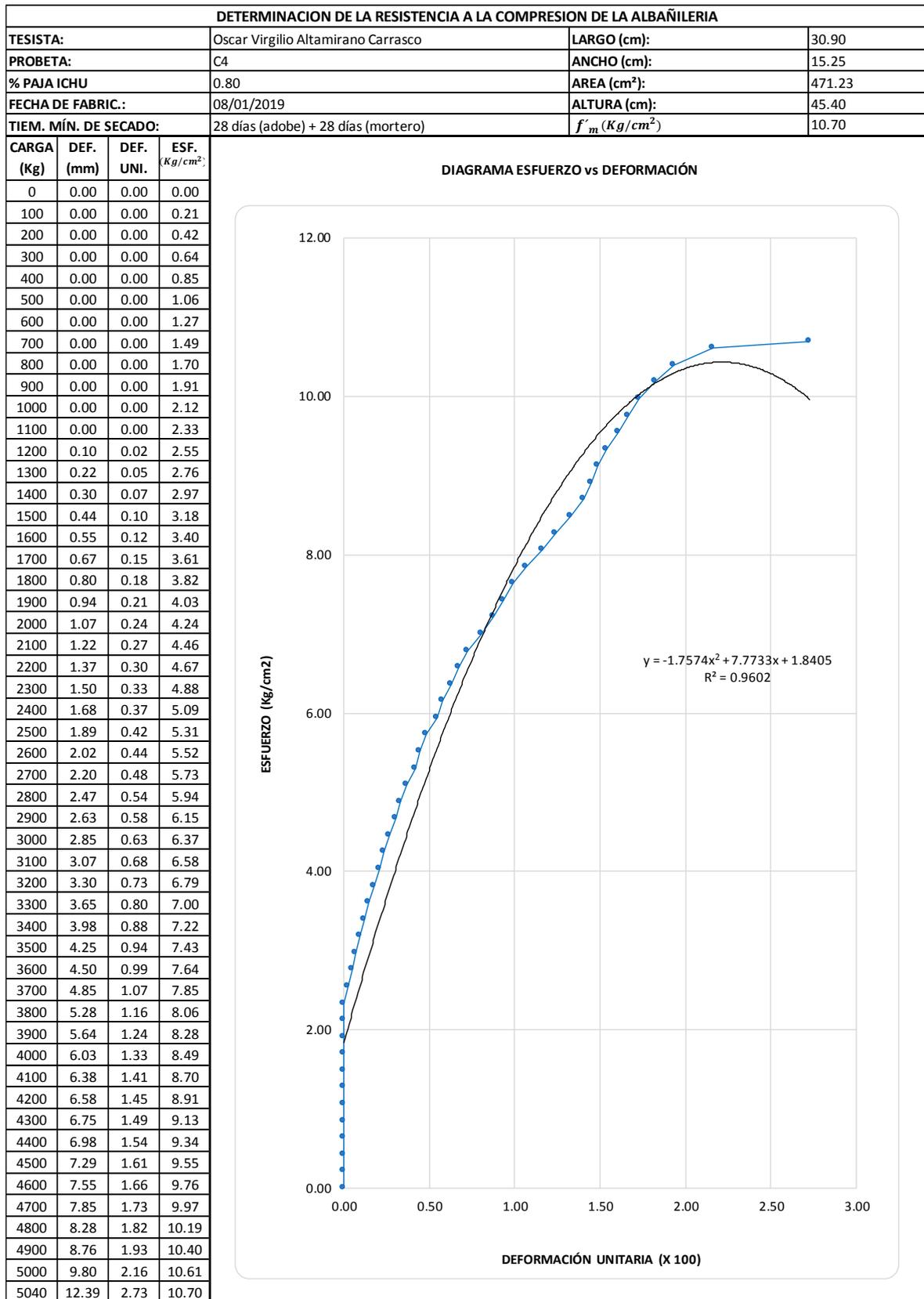


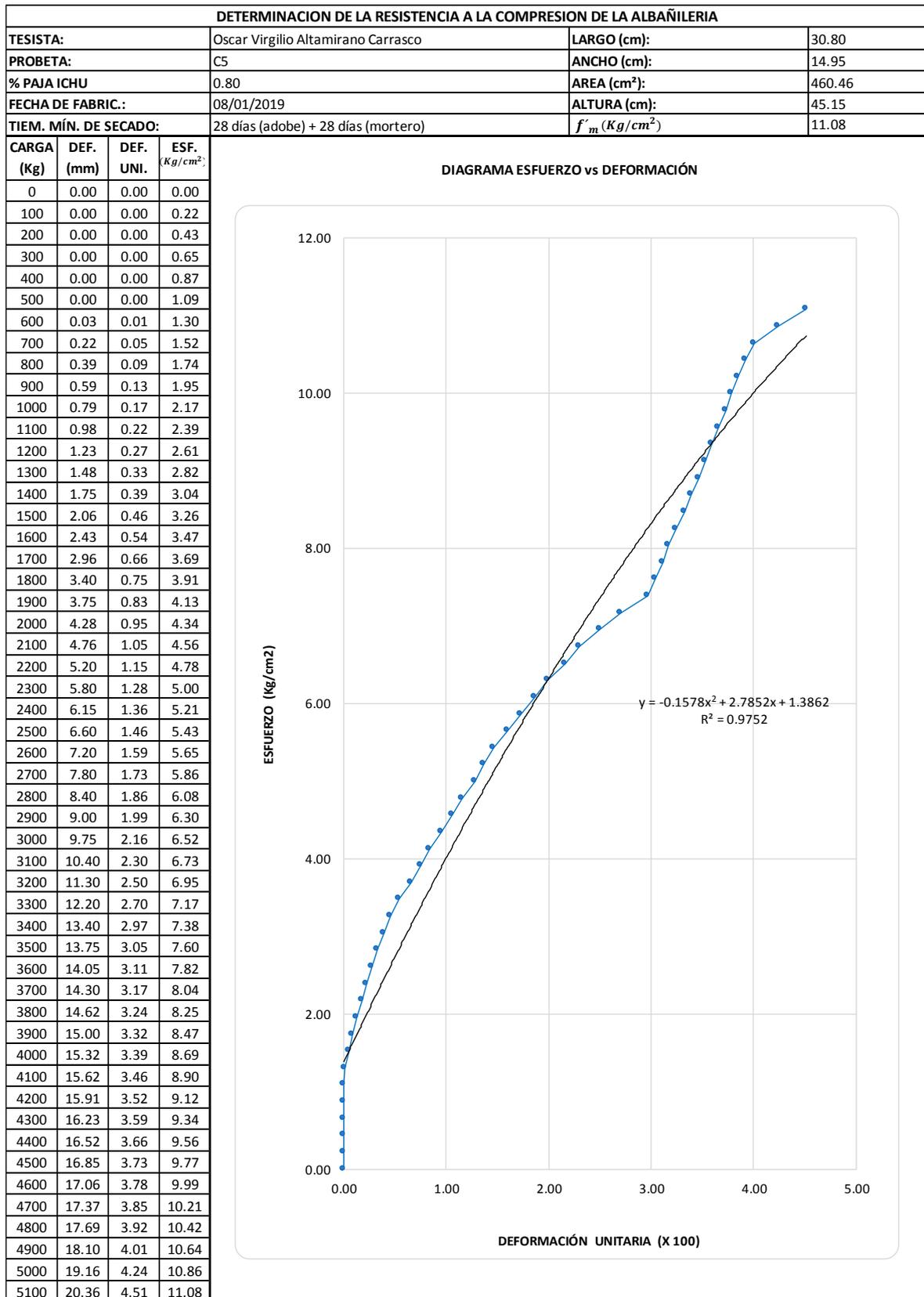


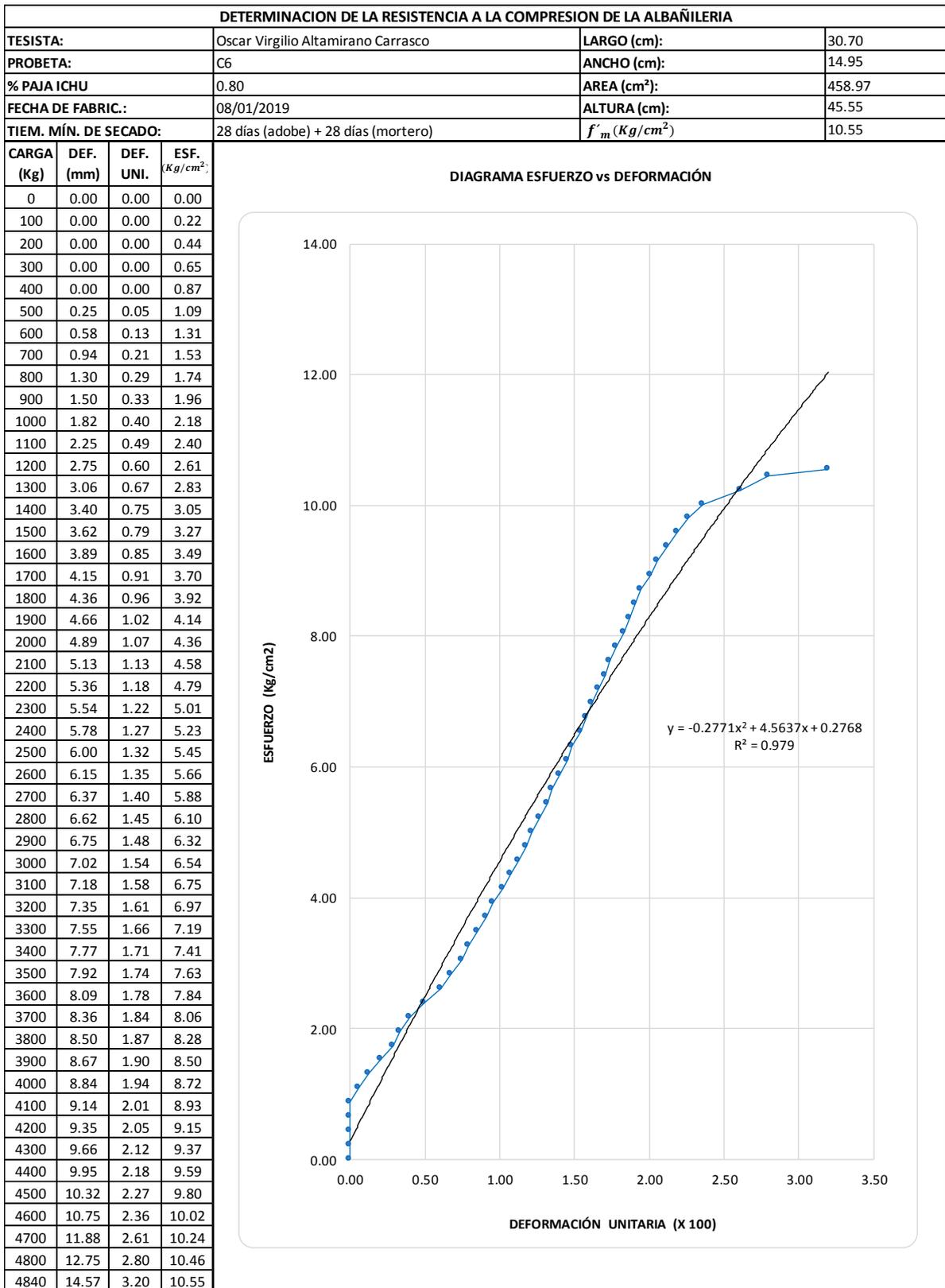


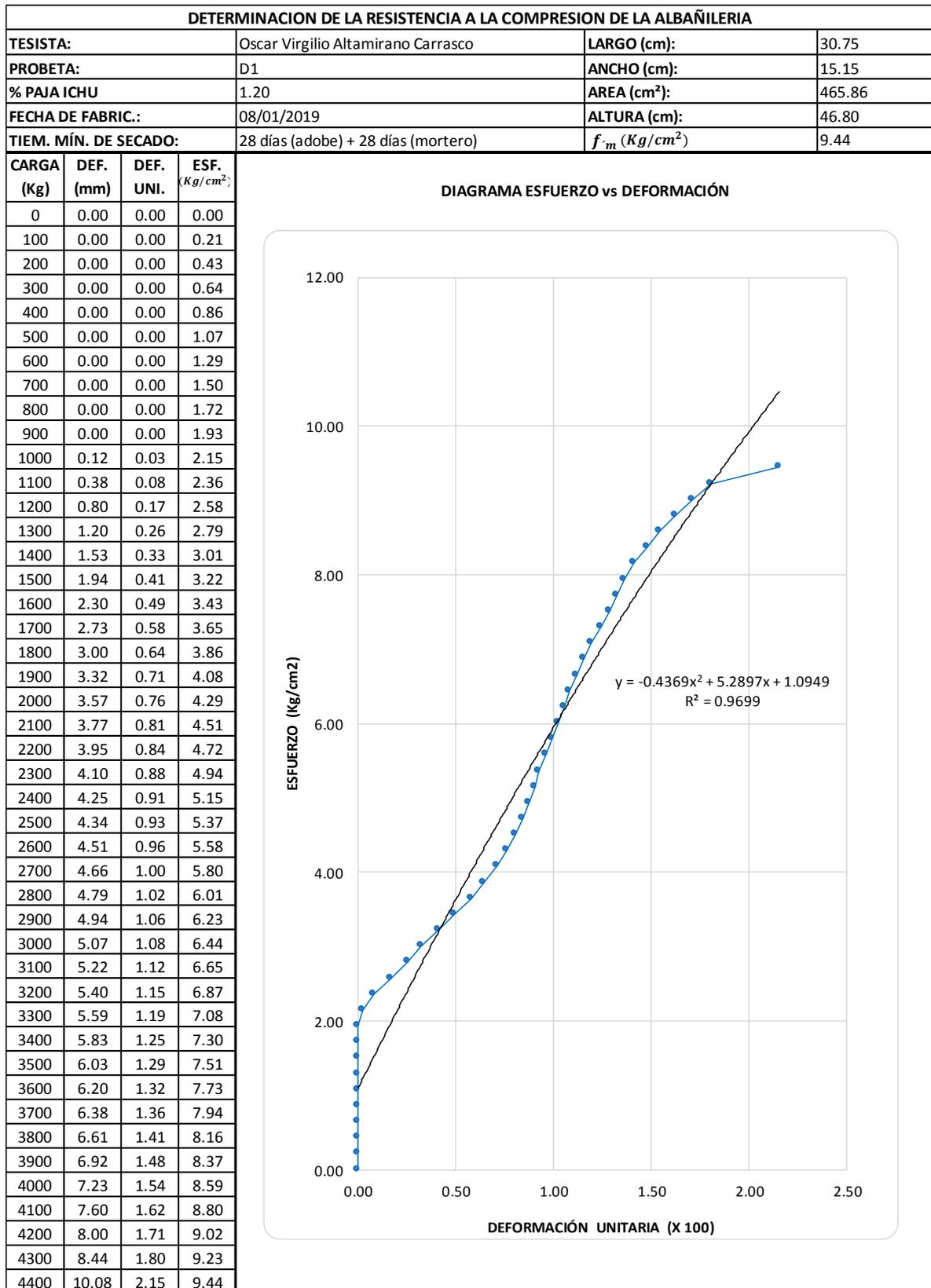


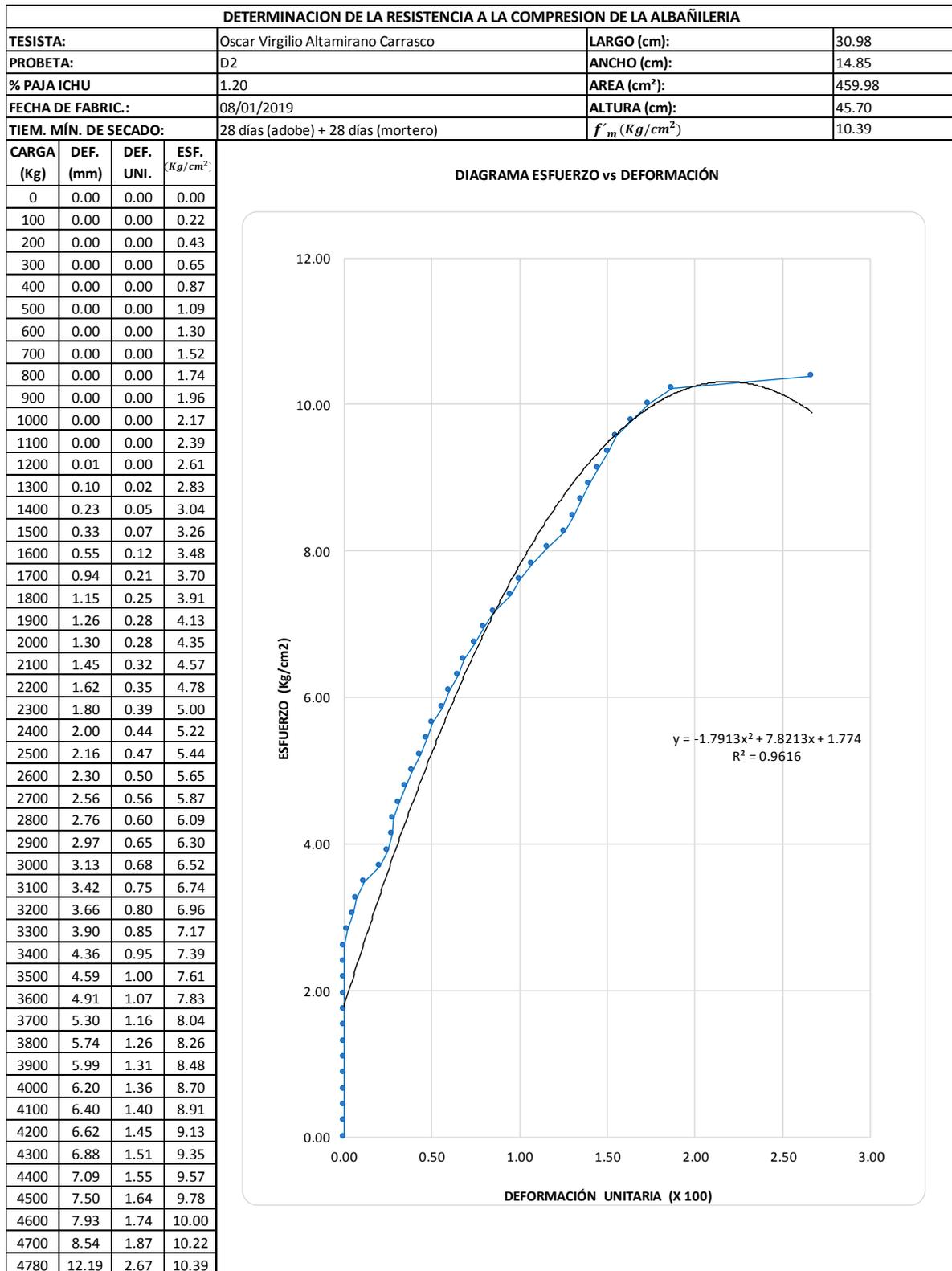


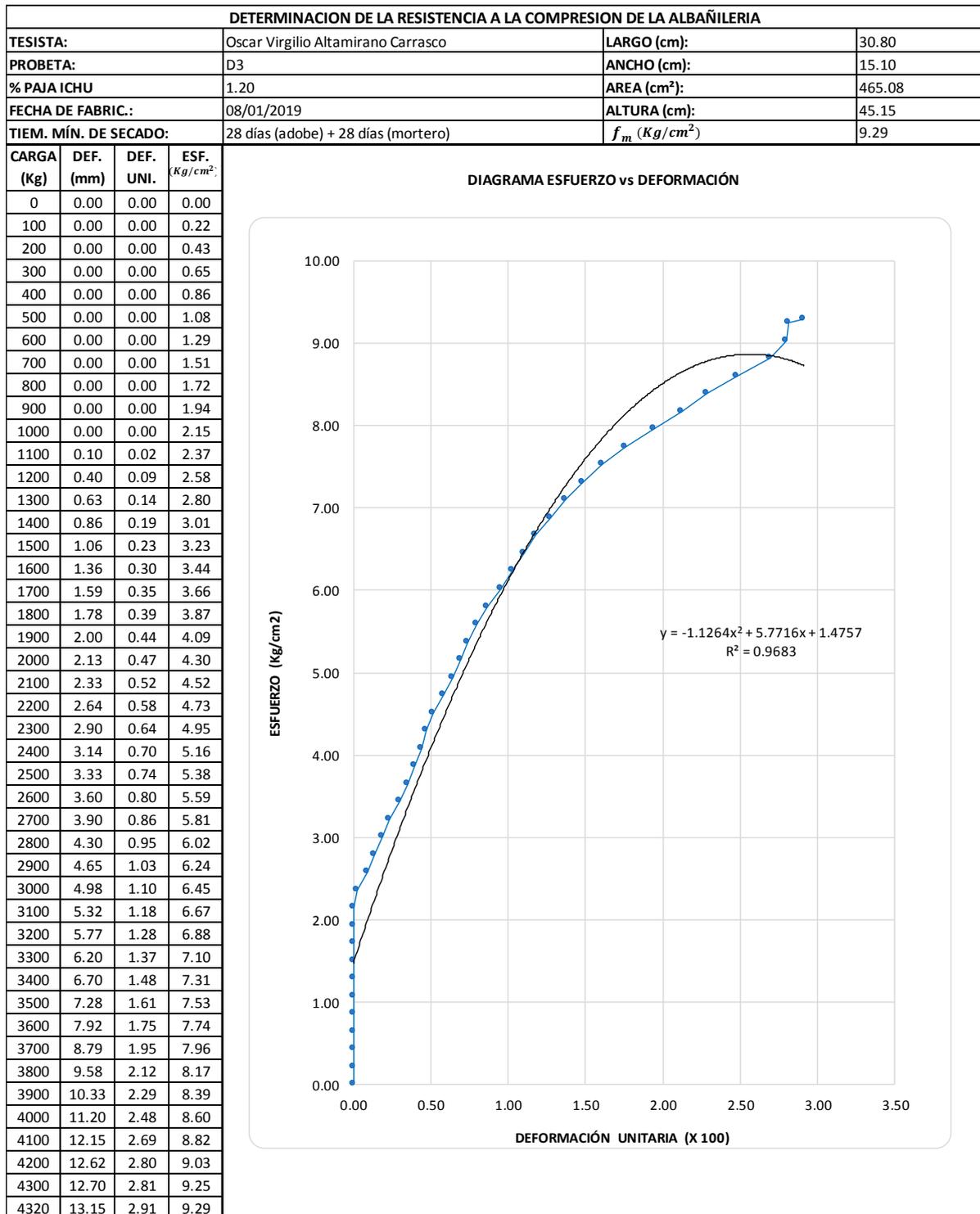


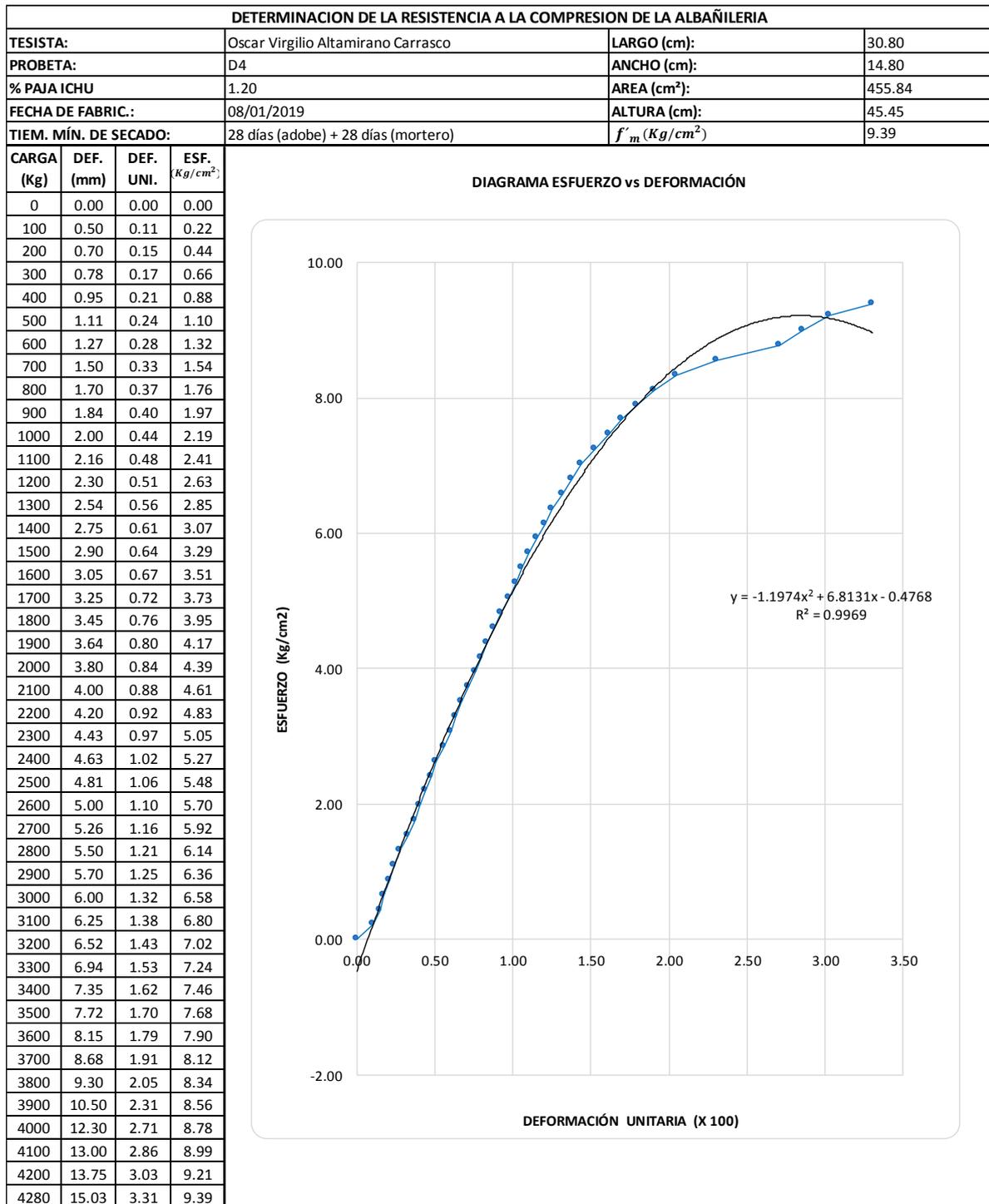


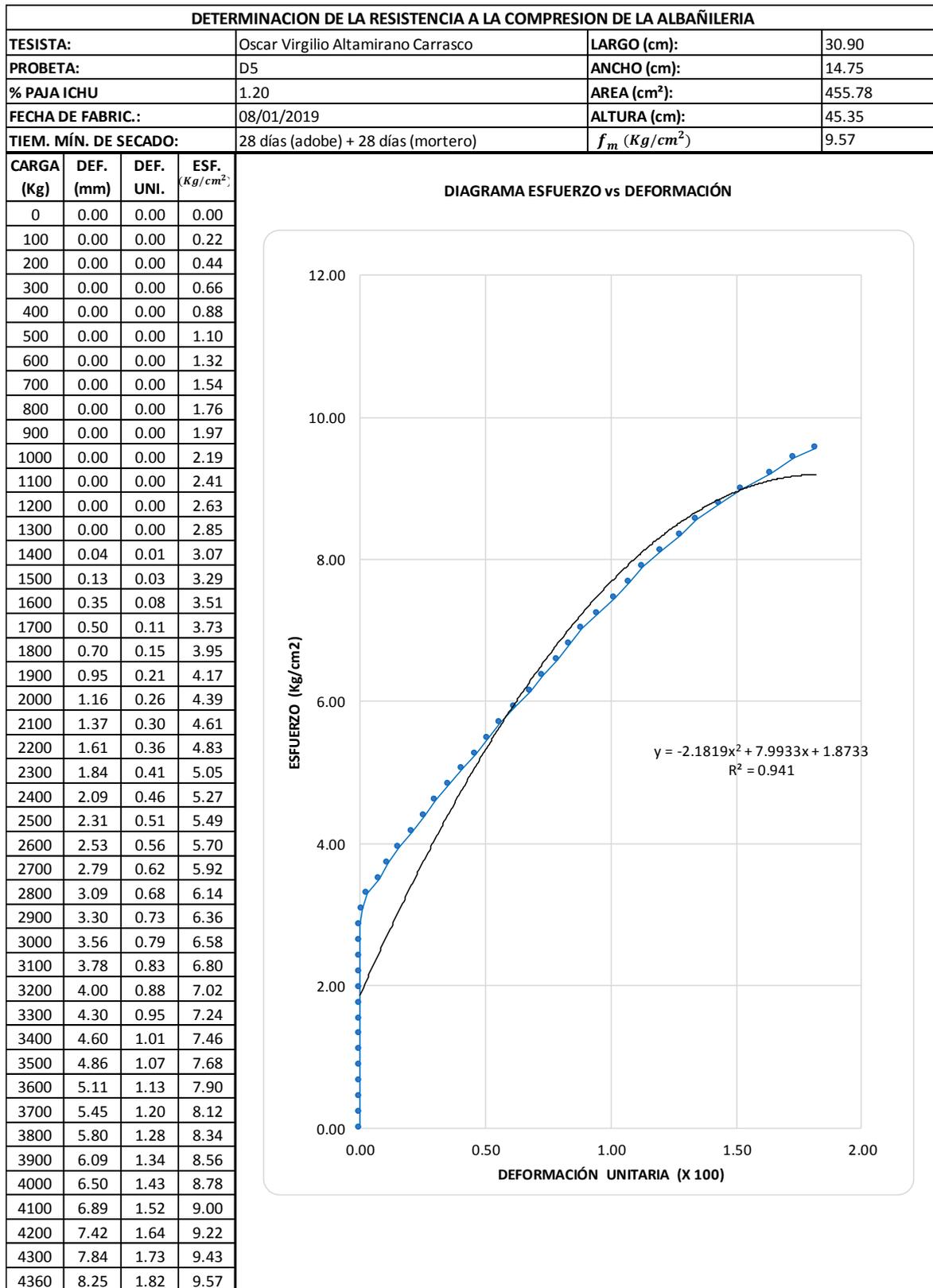


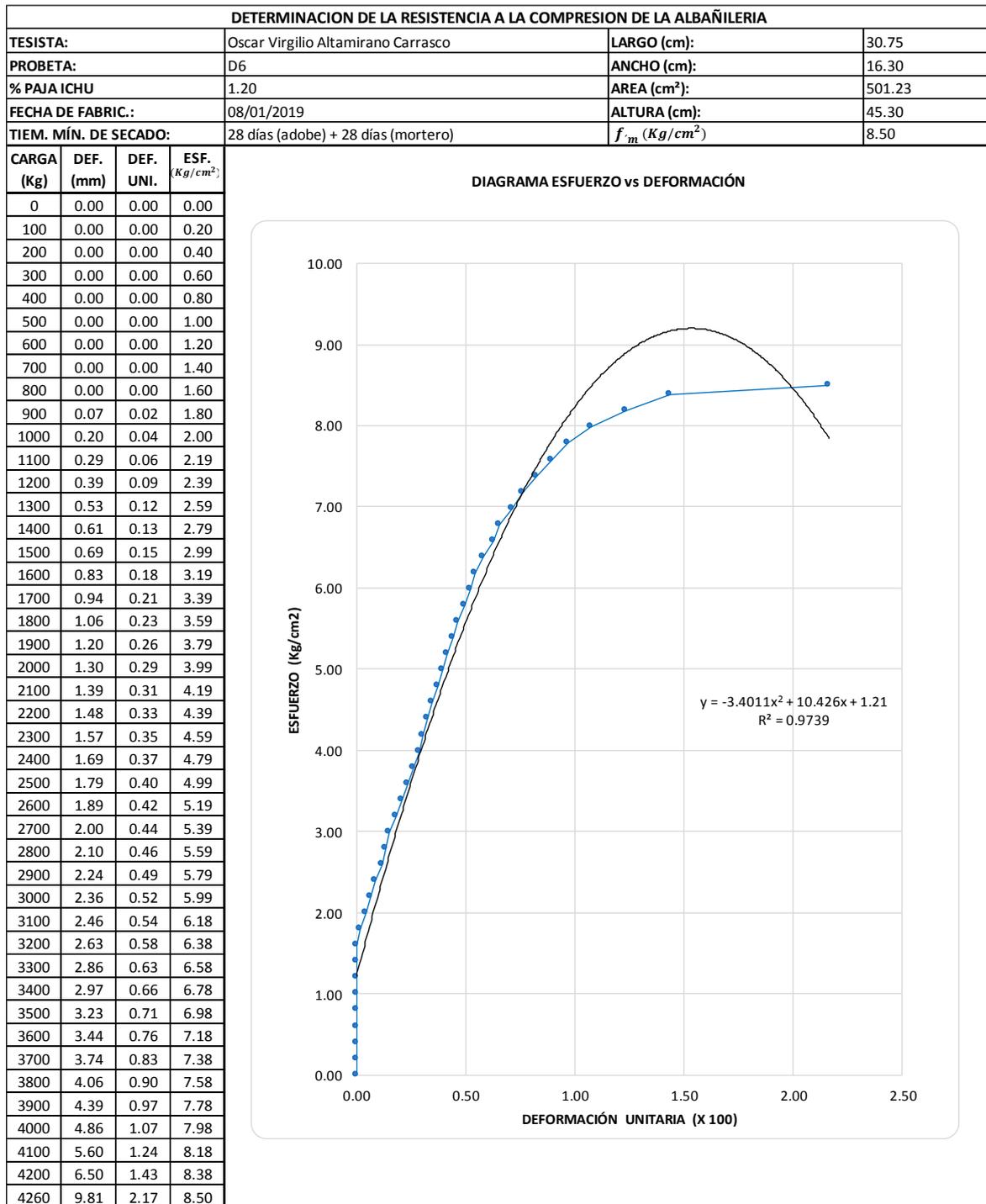












### C. Propiedades físicas y clasificación del suelo.

| PESO ESPECÍFICO DEL SUELO - A.S.T.M. D 854 (Ys)               |   |        |        |             |                    |
|---|---|--------|--------|-------------|--------------------|
| TESISTA:  | Oscar Virgilio Altamirano Carrasco  |        |        |             |                    |
| PROYECTO:   | Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil                               |        |        |             |                    |
| TESIS:  | "Análisis de la Resistencia a Compresión del Adobe Estabilizado con Cal en la Ciudad de Cajamarca." |        |        |             |                    |
| PROCED. DE SUELO:   | Cantera adobera "Cruz Blanca."  |        |        |             |                    |
| MUESTRA :   | M - 1   |        |        |             |                    |
| FECHA :   | 18 DE JULIO DEL 2018  |        |        |             |                    |
| COORDENADAS UTM   |   |        |        |             |                    |
| E: 774715   |   |        |        |             |                    |
| N: 9204810  |   |        |        |             |                    |
| z: 2840   |   |        |        |             |                    |
|   |   |        |        |             |                    |
|   | m1  | m2     | m3     | Promedio    |                    |
| <b>Peso de la fiola</b>                                       | = 163.00  | 163.00 | 163.00 |             | gr                 |
| <b>Peso de la fiola + Agua destilada</b>                      | = 661.00  | 661.00 | 661.00 |             | gr                 |
| <b>Peso de la muestra</b>                                     | = 100.00  | 100.00 | 100.00 |             | gr                 |
| <b>Peso de la fiola + muestra + agua</b>                      | = 722.80  | 722.60 | 722.70 |             | gr                 |
| <b>Peso específico del agua</b>                               | = 1.00  | 1.00   | 1.00   |             | gr/cm <sup>3</sup> |
| <b>Peso específico del suelo o tierra (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | = 2.62  | 2.60   | 2.61   | <b>2.61</b> | gr/cm <sup>3</sup> |

**LÍMITES DE ATTERBERG**  
**A.S.T.M. D 4318**

**TESISTA:** Oscar Virgilio Altamirano Carrasco  
**PROYECTO:** Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil  
**TESIS:** "Análisis de la Resistencia a Compresión del Adobe Estabilizado con Cal en la Ciudad de Cajamarca."  
**PROCED. DE SUELO:** Cantera adobera "Cruz Blanca."  
**MUESTRA :** M - 1  
**FECHA :** 18 DE JULIO DEL 2018

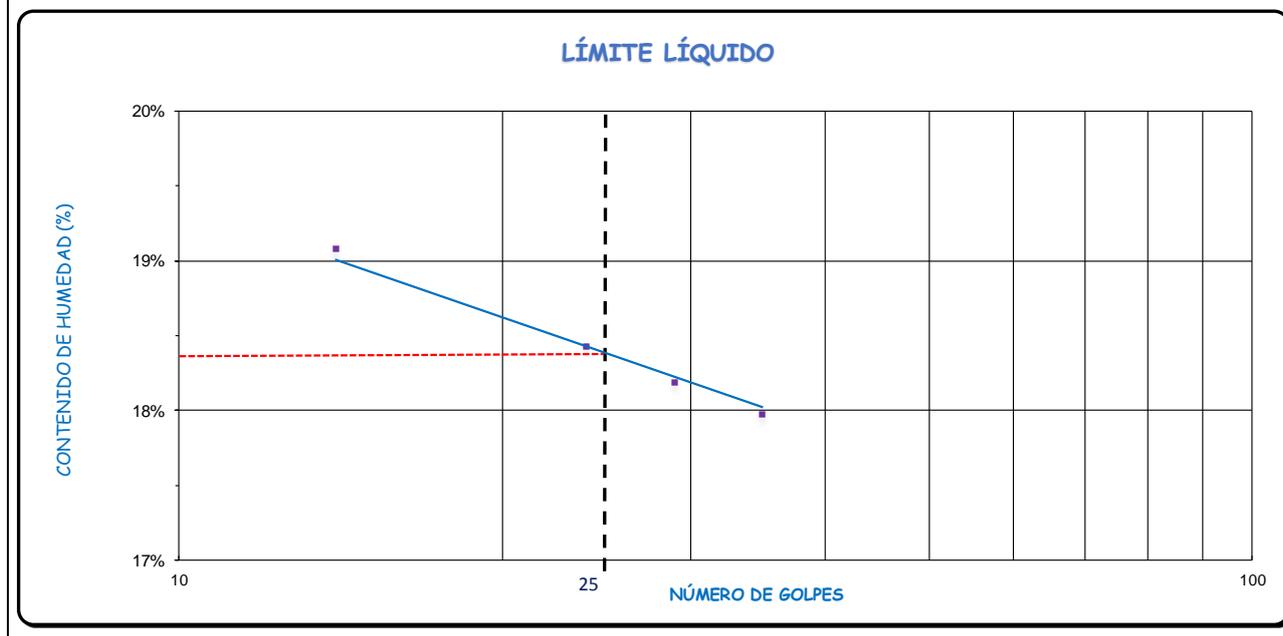
| COORDENADAS UTM |         |
|-----------------|---------|
| E:              | 774715  |
| N:              | 9204810 |
| z:              | 2840    |

| LÍMITE LÍQUIDO   |              |              |              |              |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| TARA N°          | 1            | 2            | 3            | 4            |
| Wt+ M.Húmeda (g) | <b>44.60</b> | <b>41.50</b> | <b>42.50</b> | <b>43.40</b> |
| Wt+ M. Seca (g)  | <b>41.70</b> | <b>39.40</b> | <b>40.30</b> | <b>41.10</b> |
| W agua (g)       | 2.90         | 2.10         | 2.20         | 2.30         |
| W tara (g)       | <b>26.50</b> | <b>28.00</b> | <b>28.20</b> | <b>28.30</b> |
| W M.Seca (g)     | 15.20        | 11.40        | 12.10        | 12.80        |
| W(%)             | 19.08%       | 18.42%       | 18.18%       | 17.97%       |
| N.GOLPES         | <b>14</b>    | <b>24</b>    | <b>29</b>    | <b>35</b>    |

| TEMPERATURA DE SECADO  |       |
|------------------------|-------|
| PREPARACIÓN DE MUESTRA |       |
| 60°C                   | 110°C |
| CONTENIDO DE HUMEDAD   |       |
| 60°C                   | 110°C |
| AGUA USADA             |       |
| DESTILADA              |       |
| POTABLE                |       |
| OTRA                   |       |

| LÍMITE PLÁSTICO  |              |              |          |
|------------------|--------------|--------------|----------|
| TARA N°          | 4            | 5            | Promedio |
| Wt+ M.Húmeda (g) | <b>31.30</b> | <b>32.50</b> |          |
| Wt+ M. Seca (g)  | <b>30.70</b> | <b>31.90</b> |          |
| W agua (g)       | 0.60         | 0.60         |          |
| W tara (g)       | <b>26.90</b> | <b>27.90</b> |          |
| W M.Seca (g)     | 3.80         | 4.00         |          |
| W(%)             | 15.79%       | 15.00%       | 15.39%   |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| LÍMITE LÍQUIDO        | 18% |
| LÍMITE PLÁSTICO       | 15% |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | 3%  |



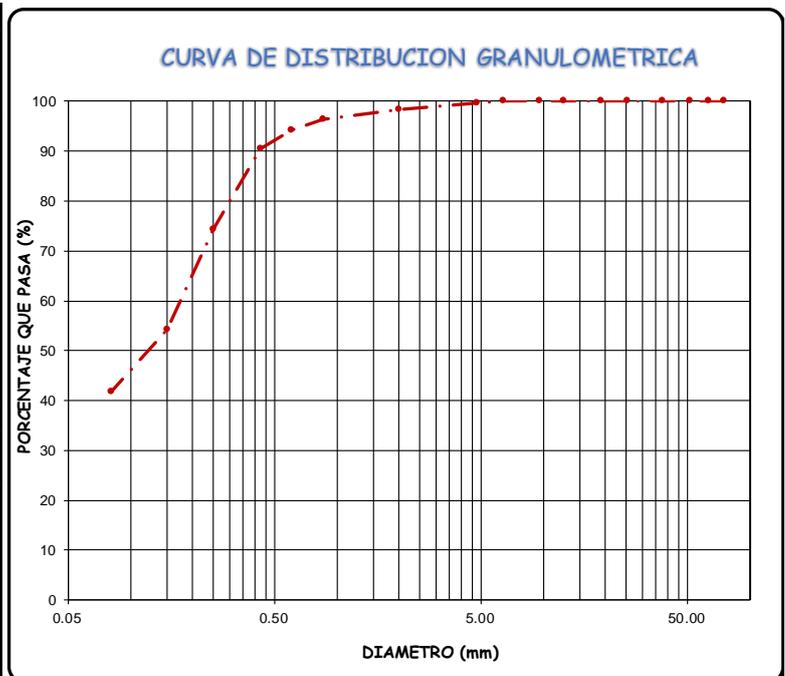
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**A.A.S.H.T.O. T 88**

**TESISTA:** Oscar Virgilio Altamirano Carrasco  
**PROYECTO:** Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil  
**TESIS:** "Análisis de la Resistencia a Compresión del Adobe Estabilizado con Cal en la Ciudad de Cajamarca."  
**PROCED. DE SUELO:** Cantera adobera "Cruz Blanca."  
**MUESTRA :** M - 1  
**FECHA :** 18 DE JULIO DEL 2018

| COORDENADAS UTM |         |
|-----------------|---------|
| E:              | 774715  |
| N:              | 9204810 |
| z:              | 2840    |

| CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL    |        |   |             |
|------------------------------------|--------|---|-------------|
| TEMPERATURA DE SECADO              | 110° C | CONTENIDO DE HUMEDAD A.A.S.H.T.O. T 265 |             |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)        | 400.00 | TARA N°                                 | 1           |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g) | 398.50 | PESO HUMEDO + TARA (g)                  | 675.00      |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g) | 1.50   | PESO SECO + TARA (g)                    | 651.00      |
|                                    |        | PESO TARA (g)                           | 127.00      |
|                                    |        | PESO DEL AGUA (g)                       | 24.00       |
|                                    |        | PESO SECO (g)                           | 524.00      |
| PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)      | 418.32 | <b>C. HUMEDAD (%)</b>                   | <b>4.58</b> |

| ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA                |               |                         |                             |                               |                     |
|---|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| N°                                      | Tamiz         | Peso Retenido o Parcial | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que Pasa |
|   | Abertura (mm) |                         |                             |                               |                     |
| 3"                                      | 76.20         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2 ½"                                    | 63.50         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2"                                      | 50.80         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1 ½"                                    | 38.10         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1"                                      | 25.40         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¾"                                      | 19.05         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ½"                                      | 12.70         | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 3/8"                                    | 9.52          | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¼"                                      | 6.35          | 0                       | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| N°4                                     | 4.75          | 1.5                     | 0.38                        | 0.38                          | <b>99.63</b>        |
| TOTAL                                   | W G =         | 1.50                    |                             |                               |                     |
| ANÁLISIS FRACCIÓN FINA                  |               |                         |                             |                               |                     |
| CORRECCION DE MUESTRA CUARTEADA :       |               |                         |                             |                               | 0.199               |
| PESO SECO FRACCIÓN FINA :               |               |                         |                             |                               | 500.00              |
| N 10                                    | 2.00          | 6.70                    | 1.33                        | 1.71                          | 98.29               |
| N 20                                    | 0.85          | 10.00                   | 1.99                        | 3.70                          | 96.30               |
| N 30                                    | 0.60          | 10.20                   | 2.03                        | 5.73                          | 94.27               |
| N 40                                    | 0.43          | 18.60                   | 3.71                        | 9.44                          | 90.56               |
| N 60                                    | 0.25          | 81.91                   | 16.32                       | 25.76                         | 74.24               |
| N 100                                   | 0.15          | 100.20                  | 19.96                       | 45.73                         | 54.27               |
| N 200                                   | 0.08          | 62.50                   | 12.45                       | 58.18                         | <b>41.82</b>        |
| Cazoleta                                | --            | --                      | --                          | --                            | --                  |
| TOTAL                                   |               | 290.11                  |                             |                               |                     |
| LÍMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318 |               |                         |                             |                               |                     |
| LÍMITE LIQUIDO :                        |               |                         |                             |                               | 18.00%              |
| LÍMITE PLÁSTICO :                       |               |                         |                             |                               | 15.00%              |
| ÍNDICE PLÁSTICO :                       |               |                         |                             |                               | 3.00%               |
| <b>CLASIFICACION</b>                    |               |                         |                             |                               | <b>SM</b>           |
| <b>S.U.C.S. :</b>                       |               |                         |                             |                               |                     |



**OBSERVACIONES:** LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO S.U.C.S. Y CORRESPONDE A UNA ARENA LIMOSA COLOR AMARILLENTO, MEZCLADO CON 0.38 % DE FRAGMENTOS ROCOSOS TAMAÑO MÁXIMO 1/4" Y 57.81% ARENA FINA A GRUESA.

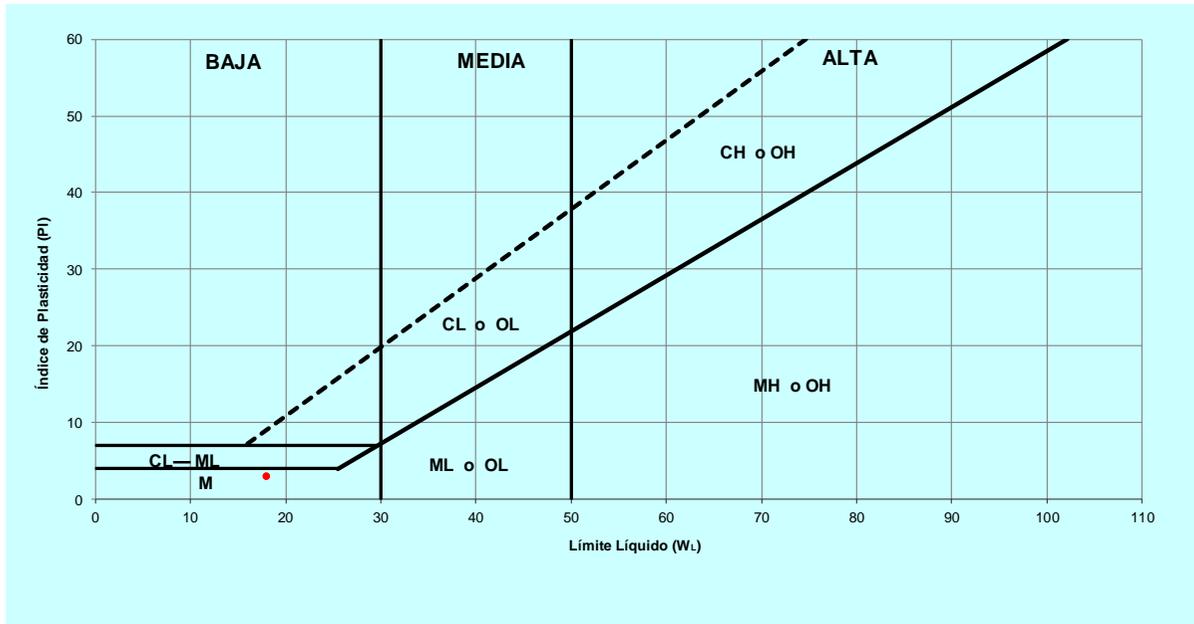
**CARTA DE CASAGRANDE-SUELOS DE GRANOS FINOS Y ORGANICOS**

**TESISTA:** Oscar Virgilio Altamirano Carrasco  
**PROYECTO:** Tesis Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil  
**TESIS:** "Análisis de la Resistencia a Compresión del Adobe Estabilizado con Cal en la Ciudad de Cajamarca."  
**PROCED. DE SUELO:** Cantera adobera "Cruz Blanca."  
**MUESTRA :** M - 1  
**FECHA :** 18 DE JULIO DEL 2018

| COORDENADAS UTM |         |
|-----------------|---------|
| E:              | 774715  |
| N:              | 9204810 |
| z:              | 2840    |

|       | %     |
|-------|-------|
| Grava | 0.4   |
| Arena | 57.8  |
| Finos | 41.8  |
|       | 100.0 |

| Límite líquido de Plasticidad |      |       |
|-------------------------------|------|-------|
| LL                            | IP   | LP    |
| 18.00                         | 3.00 | 15.00 |



**D. Panel Fotográfico.**



**Foto 1** : Ubicación de la cantera adobera “Cruz Blanca”



**Foto 2** : Extracción de tierra de la cantera adobera “Cruz Blanca”



**Foto 3** : Proceso de cernir la tierra.



**Foto 4** : Investigador supervisando la elaboración de los adobes.



**Foto 5** : Fardos de paja ichu proveniente de la comunidad de Porcón Alto



**Foto 6** : Paja ichu cortada, L=5 cm



**Foto 7** : Peso de paja ichu en balanza digital.



**Foto 8** : Peso de tierra en balanza digital.



**Foto 9** : Batido de barro.



**Foto 10** : Elaboración de adobes.



**Foto 11** : Elaboración de adobes.



**Foto 12** : Adobes para compresión y flexión de la unidad



**Foto 13** : Elaboración de toldo para protección de lluvias de adobe



**Foto 14** : Toldo y cerco perimétrico para protección de adobes.



**Foto 15** : Secado de adobes de canto.



**Foto 16** : Secado de adobes de canto.



**Foto 17** : Proceso de secado de los adobes para ensayo a tracción.



**Foto 18** : Apilado y proceso de secado de adobes, bajo techo.



**Foto 19** : Presencia de asesor verificando el proceso de secado.



**Foto 20** : Llenado de sacos de tierra para elaboración del mortero.



**Foto 21** : Traslado de adobes a la Universidad Nacional de Cajamarca



**Foto 22** : Peso de tierra y paja ichu para elaboración de mortero.



**Foto 23** : Elaboración de mortero para hacer muretes y especímenes del mortero a la tracción.



**Foto 24** : Ubicación de espacio asignado en el laboratorio para armado de muretes y especímenes del mortero a la tracción.



**Foto 25** : Presencia del asesor verificando los especímenes de adobes antes de ensayarlos.



**Foto 26** : Unidades de adobe para ensayo a compresión.



**Foto 27** : Especímenes de adobe para el ensayo a tracción del mortero.



**Foto 28** : Muretes de adobe para el ensayo a compresión.



**Foto 29** : Traslado de muretes de adobe en carro metálico.



**Foto 30** : Toma de medidas del cubo de adobe.



**Foto 31** : Toma de peso de la unidad de adobe.



**Foto 32** : Toma de peso del espécimen de adobe a tracción.



**Foto 33** : Toma de medidas del espécimen de adobe a tracción.



**Foto 34** : Toma de medidas del murete de adobe.



**Foto 35** : Toma de medidas del adobe a flexión.



**Foto 36** : Toma de medidas del espécimen a tracción del mortero de adobe.



**Foto 37** : Toma de peso del adobe a flexión.



**Foto 38** : Marcas en cada tercio del adobe a flexión.



**Foto 39** : Ensayo a compresión de la unidad de adobe (cubo).



**Foto 40** : Ensayo a la tracción del adobe.



**Foto 41** : Ensayo del mortero a la tracción



**Foto 42** : Ensayo del adobe a la flexión



**Foto 43** : Ensayo del murete a compresión.



**Foto 44** : Presencia del asesor durante el ensayo a tracción del mortero.



**Foto 45** : Presencia del asesor durante el ensayo a tracción del adobe.



**Foto 46** : Toma de deformación y carga del ensayo a compresión del murete.



**Foto 47** : Presencia del asesor durante el ensayo a compresión del murete.

**ANEXOS:****a. Constancia de uso del laboratorio**

Universidad Nacional de Cajamarca  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
*Laboratorio de Ensayo de Materiales*



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

### CONSTANCIA

Que el Sr. **ALTAMIRANO CARRASCO OSCAR VIRGILIO**, Ex alumno de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca de la Maestría en Ciencias, Mención en Ingeniería Civil; que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: "INCIDENCIA DE LA FIBRA VEGETAL "PAJA ICHU" EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL ADOBE EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA". Dichos ensayos se realizaron del 07 de enero al 12 de febrero del 2019, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 06 de Marzo de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA

*Mauro Centurión Vergas*  
 Ing. Mauro Centurión Vergas  
 JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

**b. Reconocimiento de Donación**



Universidad Nacional de Cajamarca  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



“AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD”

Cajamarca 06 de Marzo de 2019.

OFICIO N° 03-2019-LEM-FI-UNC

SEÑOR:

ALTAMIRANO CARRASCO OSCAR VIRGILIO  
 Ex alumno de la escuela de Posgrado de la UNC

Presente:

ASUNTO: RECONOCIAMIENTO, DONACIÓN DE ADOBERAS, MOLDES METÁLICOS Y CARPINTERIA METALICA AL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERILES “MG. ING CARLOS ESPARZA DIAZ”. FACULTAD DE INGENIRIA CIVIL DE LA UNC.

Tengo a bien dirigirme a Usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo hacer el reconocimiento de la **DONACIÓN DE ADOBERAS, MOLDES METÁLICOS Y CARPINTERIA METALICA** al Laboratorio de Ensayo de Materiales “ Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la UNC.

Atentamente.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERIA

*Mauro Centurión Vargas*  
 Ing. Mauro Centurión Vargas  
 JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

c. Ficha N° 01

