



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Br. Chura Huaquisto, Clenio (ORCID [0000-0002-0369-4197](https://orcid.org/0000-0002-0369-4197))

**ASESOR:**

Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID [0000-0002-6559-0334](https://orcid.org/0000-0002-6559-0334))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA-PERÚ

2021

**Dedicatoria:**

A DIOS por derramar sus bendiciones día a día para seguir adelante y permitirme llegar hasta aquí. A mis padres y hermanos por motivarme a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se interponen en la vida.

**Agradecimiento:**

A la Universidad César Vallejo, al personal administrativo y docente que labora y de manera muy en especial a Mg. Arévalo Vidal Samir A. por darme la ayuda y oportunidad de concluir con mi estudio superior.

## Índice de contenidos

Dedicatoria:.....	ii
Agradecimiento:.....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	x
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	14
II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes .....	18
2.2. Bases teóricas .....	23
III. METODOLOGÍA.....	34
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	34
3.1.1. Método .....	34
3.1.2. Tipo .....	34
3.1.3. Nivel .....	35
3.1.4. Diseño .....	35
3.2. Variables y operacionalización .....	35
3.2.1. Variable 1: Lodo de aguas residuales .....	35
3.2.2. Variable 2: Propiedades físico mecánicas del ladrillo.....	36
3.3. Población, muestra y muestreo .....	38
3.3.1. Población.....	38
3.3.2. Muestra .....	38
3.3.3. Muestreo .....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38

3.4.1. Técnicas.....	38
3.4.2. Instrumentos.....	39
3.4.3. Validez.....	39
3.4.4. Confiabilidad.....	40
3.5. Procedimientos .....	40
3.5.1. Estudios previos .....	41
3.6. Método de análisis de datos.....	45
3.7. Aspectos éticos.....	97
IV. RESULTADOS.....	98
V. DISCUSIÓN .....	103
VI. CONCLUSIONES.....	107
VII. RECOMENDACIONES .....	109
REFERENCIAS .....	110
ANEXOS.....	115
ANEXO 1: Matriz de consistencia	
ANEXO 2: Instrumentos de investigación validado	
ANEXO 3: Certificados y/o protocolos de ensayos de laboratorio	
ANEXO 4: Mapa de ubicación del proyecto de investigación	
ANEXO 5: Registro fotográfico	
ANEXO 6: Pantallazo del software turnitin	

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....	27
<b>Tabla 2</b> Requisitos obligatorios de los ladrillos de arcilla según la ITINTEC 331.017 .....	28
<b>Tabla 3</b> Factores de corrección según la norma E.070 .....	30
<b>Tabla 4</b> Resistencias características de la albañilería MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	31
<b>Tabla 5</b> <i>Matriz de Operacionalización de variables</i> .....	37
<b>Tabla 6</b> Interpretación de la validez .....	39
<b>Tabla 7</b> Validez de los instrumentos de las variables: V1 Lodo de aguas residuales y V2 Propiedades físico mecánicos del ladrillo, por juicio de expertos .....	40
<b>Tabla 8</b> Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	48
<b>Tabla 9</b> Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	48
<b>Tabla 10</b> Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	49
<b>Tabla 11</b> Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	49
<b>Tabla 12</b> Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	50
<b>Tabla 13</b> Resumen de la variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación en porcentajes de lodo de aguas residuales .....	50
<b>Tabla 14</b> Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	54
<b>Tabla 15</b> Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	54
<b>Tabla 16</b> Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	55
<b>Tabla 17</b> Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	55
<b>Tabla 18</b> Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	56

<b>Tabla 19</b> Resumen del alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	56
<b>Tabla 20</b> Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	58
<b>Tabla 21</b> Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	59
<b>Tabla 22</b> Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	59
<b>Tabla 23</b> Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	59
<b>Tabla 24</b> Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	60
<b>Tabla 25</b> Resumen de la densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	60
<b>Tabla 26</b> Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	62
<b>Tabla 27</b> Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	63
<b>Tabla 28</b> Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	63
<b>Tabla 29</b> Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	64
<b>Tabla 30</b> Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	64
<b>Tabla 31</b> Resumen de la absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	65
<b>Tabla 32</b> Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	69
<b>Tabla 33</b> Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	69
<b>Tabla 34</b> Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	70

<b>Tabla 35</b> Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	70
<b>Tabla 36</b> Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	71
<b>Tabla 37</b> Resumen de la succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	71
<b>Tabla 38</b> Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	74
<b>Tabla 39</b> Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	75
<b>Tabla 40</b> Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	75
<b>Tabla 41</b> Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	76
<b>Tabla 42</b> Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	76
<b>Tabla 43</b> Resumen de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	77
<b>Tabla 44</b> Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	80
<b>Tabla 45</b> Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	80
<b>Tabla 46</b> Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	81
<b>Tabla 47</b> Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	81
<b>Tabla 48</b> Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	82
<b>Tabla 49</b> Resumen de la resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	83
<b>Tabla 50</b> Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales .....	85

<b>Tabla 51</b> Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales .....	86
<b>Tabla 52</b> Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales .....	86
<b>Tabla 53</b> Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales .....	87
<b>Tabla 54</b> Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales .....	87
<b>Tabla 55</b> Resumen de resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	88
<b>Tabla 56</b> Peso promedio de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	90
<b>Tabla 57</b> Color de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	91
<b>Tabla 58</b> Textura de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	92
<b>Tabla 59</b> Dureza de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	93
<b>Tabla 60</b> Solidez de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	94
<b>Tabla 61</b> Análisis de Varianza para los datos de la variación de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal .....	95
<b>Tabla 62</b> Agrupación de muestras utilizando el método de Duncan y una confianza de 95%.....	96
<b>Tabla 63</b> Resumen de las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	98
<b>Tabla 64</b> Resumen de clasificación del tipo de ladrillos con adición de lodo según las normas indicadas .....	100
<b>Tabla 65</b> Resumen de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	101
<b>Tabla 66</b> Resumen de las características de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales .....	102

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Pantas ladrilleras artesanales la Rinconada – Salcedo - Puno .....	15
<b>Figura 2</b> Disgregación de partículas de ladrillo artesanal en Av. Simón Bolívar - Puno .....	15
<b>Figura 3</b> Carta de plasticidad.....	24
<b>Figura 4</b> Copa de casagrande .....	24
<b>Figura 5</b> Determinación de límite plástico.....	25
<b>Figura 6</b> Resistencia a la compresión axial .....	29
<b>Figura 7</b> Resistencia a la compresión uniaxial en prisma .....	30
<b>Figura 8</b> Resistencia a la tracción por flexión .....	32
<b>Figura 9</b> Extracción de lodo de aguas residuales en la laguna de oxidación de Espinar - Puno .....	41
<b>Figura 10</b> Extracción de material de cantera en centro poblado de Salcedo - Puno .....	42
<b>Figura 11</b> Elaboración de ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	43
<b>Figura 12</b> Secado de los ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes .....	43
<b>Figura 13</b> Elaboración de prismas de ladrillo con incorporación de lodo en diferentes porcentajes de lodo de aguas residuales.....	44
<b>Figura 14</b> Ensayo de granulometría del lodo de aguas residuales .....	45
<b>Figura 15</b> Ensayo de en laboratorio de Variación dimensional .....	47
<b>Figura 16</b> Variación dimensional del largo en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070.....	51
<b>Figura 17</b> Variación dimensional del ancho en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070.....	52
<b>Figura 18</b> Variación dimensional de la altura en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070.....	52
<b>Figura 19</b> Ensayo en laboratorio de Alabeo.....	53
<b>Figura 20</b> Variación de la concavidad y convexidad en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070 .....	57
<b>Figura 21</b> Ensayo de determinación de densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	58

<b>Figura 22</b> Variación de la densidad en los ladrillos con adición de lodo y la norma ITINTEC 331.017 .....	61
<b>Figura 23</b> Ensayo de determinación de absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	62
<b>Figura 24</b> Variación de la absorción en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017 .....	66
<b>Figura 25</b> Variación de la absorción máxima en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017 .....	67
<b>Figura 26</b> Variación del coeficiente de saturación en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017 .....	67
<b>Figura 27</b> Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	68
<b>Figura 28</b> Variación de la succión en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070 .....	72
<b>Figura 29</b> Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales.....	74
<b>Figura 30</b> Variación de la resistencia a la compresión $f'_b$ en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070.....	78
<b>Figura 31</b> Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	79
<b>Figura 32</b> Variación de la resistencia a la compresión en pilas $f'_m$ en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070.....	84
<b>Figura 33</b> Ensayo de determinación de la resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	85
<b>Figura 34</b> Variación de la resistencia a la tracción por flexión $f'_{tb}$ en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070 .....	89
<b>Figura 35</b> Color del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	91
<b>Figura 36</b> Dureza del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales .....	93
<b>Figura 37</b> Gráfico de las medias.....	96
<b>Figura 38</b> Gráfico de caja de resistencia a la compresión axial .....	97

## Resumen

La presente investigación **titulada** Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021; fijando como **objetivo**: Analizar si la incorporación de lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021. Como **metodología** se aplicó el método científico del **tipo** aplicada del **nivel** explicativo y **diseño** experimental. Para lo cual se fabricó ladrillos con adición de lodo de aguas residuales en 0%, 5%, 10%, 20% y 40% respecto a su volumen, determinado sus propiedades físico mecánicas y características, donde los **resultados** obtenidos fueron, que el ladrillo patrón 0% tiene una resistencia a la compresión de 55.7 kg/cm<sup>2</sup> y el porcentaje óptimo de adición de lodo es de 5% y 10%, con resistencia a la compresión de 53.8 kg/cm<sup>2</sup> y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, superando el valor mínimo según la E.070 para ladrillo artesanal (50 kg/cm<sup>2</sup>). La investigación muestra como **conclusión** que es factible la incorporación de lodo en porcentajes menores al 10% en la elaboración de ladrillos artesanales sólidos puesto que supera a los valores mínimos indicados por la Norma E.070.

**Palabras claves:** lodo de aguas residuales, propiedades físico mecánicas, ladrillo artesanal, resistencia a la compresión.

### **Abstract**

The present investigation titled Incorporation of Sewage Sludge in the Elaboration of Artisan Brick Improving its Physical Mechanical Properties - Puno, 2021; Setting the objective: Analyze whether the incorporation of sewage sludge improves the physical and mechanical properties of artisan bricks in the city of Puno - Puno, 2021. As a methodology, the scientific method of the applied type of the explanatory level and experimental design was applied. For which bricks were manufactured with the addition of sewage sludge in 0%, 5%, 10%, 20% and 40% with respect to its volume, determined its physical-mechanical properties and characteristics, where the results obtained were that the brick The 0% standard has a compressive strength of 55.7 kg/cm<sup>2</sup> and the optimum percentage of mud addition is 5% and 10%, with a compressive strength of 53.8 kg/cm<sup>2</sup> and 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectively, exceeding the value minimum according to E.070 for artisan bricks (50 kg/cm<sup>2</sup>). The investigation shows as a conclusion that the incorporation of mud in percentages lower than 10% is feasible in the elaboration of solid artisan bricks since it exceeds the minimum values indicated by Standard E.070.

**Keywords:** sewage sludge, physical mechanical properties, artisan brick, compressive strength.

## I. INTRODUCCIÓN

A la resistencia mecánica se debe enfocar desde lo normativo, económico, social y ambiental; con procesos de producción más eficientes e innovadores utilizando en menor cantidad la materia prima y diversificando la oferta existente EELA (2017).

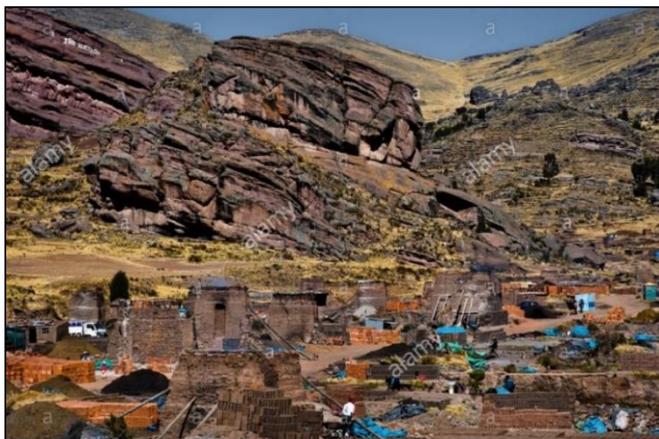
Los ladrillos artesanales producidos de manera empírica, desordenada y sin conocimiento del material que se emplea en su producción, tienen resistencia mecánica, densidad, homogeneidad y peso inadecuado (PRAL-PRODUCE, 2009).

En el ámbito de estudio que es la ciudad de Puno se ha visto que a raíz del crecimiento acelerado de la población en la ciudad Puno 1.9% (INEI 2007), la necesidad de contar con una vivienda propia y sumando la deficiente situación económica recurren al autoconstrucción de sus viviendas utilizando materiales de bajo costo como es el ladrillo artesanal sólido. Donde **los ladrillos artesanales sólidos no cumplen con lo recomendado en la Norma E.070 en sus propiedades físicas, mecánicas y características**. Entre las diferentes causas que pueden estar originando esto son; los precarios procedimientos durante el proceso de fabricación, empleo de mano de obra no calificada, dosificación de la materia prima en forma tradicional con un control de calidad casi nulo reflejándose esto en la falta de innovación de nuevo materias primas y la informalidad que hay en la fabricación lo que dificulta para el control del producto acabado comparando con la E.070 (Figura 1). Los efectos que pueden traer este problema son varios como: los bajos valores en sus propiedades físico mecánicas y características deficientes en el producto terminado del ladrillo artesanal sólido y por ende el riesgo que no pueda cumplir con las exigencias de servicio en las construcciones donde se empleó este material (Figura 2).

Es por esto que la presente investigación pretende mejorar las propiedades físicas, mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido en la ciudad de Puno, a través de la incorporación de lodo en la mezcla para la elaboración del ladrillo, creando así un nuevo tipo de ladrillo ecológico que cumpla con lo recomendado en la Norma E.070 de albañilería.

## Figura 1

*Pantas ladrilleras artesanales la Rinconada – Salcedo - Puno*



Fuente: <https://www.alamy.es/imagenes/quema-de-ladrillos.html>

## Figura 2

*Disgregación de partículas de ladrillo artesanal en Av. Simón Bolívar - Puno*



Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la **variable independiente**, se define al lodo de aguas residuales como el desecho que se origina por la descomposición de la materia en su estado líquido, sólido y/o semi sólido provenientes de las aguas servidas de los domicilios, contaminación atmosférica, entre otros residuos que presentan características y efectos similares a lo mencionado anteriormente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. En cuanto a la **variable dependiente**, se entiende por propiedades físico mecánicas como los valores mínimos o máximos que se deben de alcanzar en los diferentes ensayos normados por la Norma Técnica

Peruana, para de esa manera poder controlar la calidad de la unidad de albañilería terminada.

Analizando la realidad problemática de los deficientes valores que tienen los ladrillos artesanales sólidos en sus propiedades físicas mecánicas en la ciudad de Puno es indispensable la formulación del problema, es por este motivo se traza como **problema general**; ¿De qué manera la incorporación de lodo de aguas residuales mejorará las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; como problemas específicos; **la primera** ¿De qué manera la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; **la segunda** ¿En qué medida la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; y **la tercera** ¿De qué manera la incorporación de lodo de aguas residuales mejorará las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?

Continuando con el orden del esquema del desarrollo de la investigación se evidencia la justificación del problema desde tres puntos de vistas diferentes: el sustento desde el **punto de vista teórico**, es que busca comprobar mediante los ensayos de laboratorio si los ladrillos elaborados con adición de lodo cumplen con los requerimientos mínimos exigidos en la E.070 – albañilería, desde la **perspectiva práctica** se justifica por dar una nueva alternativa en la utilización del lodo como materia prima en la elaboración del ladrillo por consiguiente una solución a los problemas de sobreexplotación de la arcilla en las canteras para la producción de ladrillos ya que se reemplazará en porcentajes con lodo proveniente de PTAR en la ciudad de Puno, de esta manera se tendrá una nueva alternativa de material eco amigable para la construcción, en lo **ambiental** se justifica bajo la necesidad de eliminar el lodo de aguas residuales que se extrae de la laguna de oxidación y que este es depositado en el medio ambiente lugar donde no pertenece, finalmente, **en lo metodológico**, como la investigación es de tipo experimental, se pretende crear otro tipo de ladrillo diferente a lo establecido en la E.070, para lo cual se guiarán por el método científico donde se determinarán sus propiedades estructurales con ensayos de laboratorio.

Esta investigación se plantea como **objetivo general**; Analizar si la incorporación de lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; Como **objetivos específicos**; **la primera**, determinar si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; **la segunda**, determinar si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; y **la tercera**, definir si la incorporación de lodo de aguas residuales mejoran las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021.

Planteado ya los problemas y fijados los objetivos se formula las hipótesis, disponiendo como la **hipótesis general**; La incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021. Las **hipótesis específicas**; **La primera** La incorporación lodo de aguas residuales mejora las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; **la segunda** La incorporación lodo de aguas residuales incrementa las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021. Y **la tercera**, la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Como antecedentes nacionales, tenemos a los siguientes:

Según Zapata (2020) en su tesis de grado titulado “*Adición de Lodo Orgánico de la Bahía el Ferrol en Ladrillos Macizos Artesanales de Arcilla para Mejorar sus Propiedades Físicas*” por la Universidad Nacional del Santa, siendo el **objetivo**: la fabricación de manera artesanal de ladrillos de arcilla incorporando lodo orgánico. Aplicando una **metodología** experimental aplicada. Para lo cual se elaboró ladrillos artesanales macizos con porcentajes de 10%, 20% y 30% de lodo orgánico, para así de esa manera encontrar el porcentaje óptimo con ayuda de ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas en laboratorio. Obteniendo como **resultados**, que la adición del 20% de lodo orgánico es la dosificación más óptima con resistencia a la compresión de 60.42 kg/cm<sup>2</sup>. finalmente, fijando la **conclusión** que se cumple con los parámetros mínimos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Seguidamente Chilón & Posadas (2018) en la tesis de grado titulado “*Reutilización de Lodos Generados en el Tratamiento de Aguas Ácidas para la Elaboración de Ladrillos Artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca*” de la Universidad Nacional del Altiplano, donde tiene como **objetivo**: Elaboración de ladrillos artesanales utilizando como materia prima los lodos originados en la planta de tratamiento de Aguas Ácidas. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Realizó la caracterización físico-química del lodo, para luego fabricar ladrillos con dosificación 1 de lodo y agua; dosificación 2, 3, 4 y 5 de lodo + arcilla con porcentajes de vidrio triturado (8%, 10%, 15% y 20%) respectivamente y la dosificación 6 de lodo + cemento + arena, teniendo como **resultados**, la dosificación 6 tiene mejor comportamiento a la resistencia de compresión con 51.038 kg/cm<sup>2</sup>, superando al valor del ladrillo artesanal (39.15 kg/cm<sup>2</sup>) y por la NTP E.070 ladrillo Tipo I (50 kg/cm<sup>2</sup>); por otra parte las demás dosificaciones no cumplen con lo mínimo establecido por la NTP E.070 mucho menos con un ladrillo artesanal. Finalmente, fija como **conclusiones** que es viable el empleo de lodos originados en la planta de tratamiento de aguas ácidas económicamente y ambientalmente.

Después Espillico (2019) en la tesis de grado titulado “*Elaboración de Ladrillos a partir de Lodos Generados por Plantas de Tratamiento de Agua Potable y el Uso en la Construcción*” de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, donde tiene como **objetivo**: Elaborar ladrillos a partir de lodos generados por las unidades compactas de la PTAP y su posible uso en la construcción. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Donde se elaboraron trece unidades de ladrillo de 12x10x5.5 cm con una mezcla de clase textural franco arenosa y arcilla, adicionando 23.79, 30, 45, 60 y 66.21% de lodo. Donde estos ladrillos (tipos A, B y C) se sometieron a temperaturas de 658.58, 700, 800, 900 y 941.42 °C. teniendo como **resultados**, ladrillos macizos de color anaranjado rojizo, textura rugosa y peso promedio de 1217g., respecto a la resistencia a la compresión óptimo se tiene 54.16 kg/cm<sup>2</sup> para un nivel de temperatura de 941.42°C y una dosis de 45% de lodo, Finalmente, fija como **conclusiones** la alta cantidad de arena que posee el lodo dificulta la elaboración del ladrillo, es por eso que se realizó la mezcla de lodo – tierra negra.

También se tiene a Santos (2019) en la tesis de grado titulado “*Materiales de Construcción a Base de Lodos Residuales Provenientes del Proceso de Filtración en Industrias Cerveceras*” de la Universidad Nacional Agraria la Molina, donde tiene como **objetivo**: examinar la utilización de las tierras diatomeas proveniente del procedimiento de filtrado de cerveza en la elaboración de ladrillos. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Donde se fabricaron ladrillos utilizando las tierras diatomeas agotadas procedente de la filtración de cerveza con diferentes dosificaciones, teniendo como **resultados** que la unidad de albañilería que mejor comportamiento en la resistencia a la compresión que de 23.3 kg/cm<sup>2</sup>, alabeo de 0.37mm y variación dimensional de 4.01% está compuesto de la mezcla de bentonita, ceniza, diatomea agotada, cal y agua con porcentajes de 30%, 12%, 15%, 19% y 24% respectivamente. fijando como **conclusión** que este ladrillo tiene una clasificación de Tipo I, donde la característica principal es que tiene muy baja resistencia y durabilidad, cumpliendo solo con los requerimientos mínimos para las construcciones en condiciones mínimas de servicio.

Y por último Huillcaya & Vidal (2018) en el artículo científico titulado “Influencia del Porcentaje Óptimo de Inclusión de Biosólidos de la PTAR San Jerónimo Cusco en las Propiedades Físico – Mecánicas de Ladrillos King Kong de 18 Huecos y Pilas de Albañilería según la NTP e.070” donde tiene como **objetivo**: definir la adición óptima de biosólido para mejorar las propiedades físico mecánicas en unidades de albañilería según la E.070. aplicando una **metodología** de diseño experimental, para la cual se fabricó ladrillos semi industriales y someter a ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a la compresión; teniendo como **resultados** que la resistencia a la compresión del ladrillo patrón fue de 97.81kg/cm<sup>2</sup> y del ladrillo con adición de lodo de 10% fue 115.85 hg/cm<sup>2</sup> el más alto, referente a la absorción se obtuvo para la adición de 0% y 10% se tiene 14% y 18% respectivamente habiendo un incremento en ambas propiedades. Fijando como **conclusión**, que el porcentaje óptimo de adición respecto al ladrillo patrón es de 10% donde se incrementó la resistencia a compresión del ladrillo en 18.04kg/cm<sup>2</sup>, fijando favorablemente la adición de lodo en los ladrillos.

Por otra parte, tenemos como antecedentes internacionales a los siguientes:

Según Peralta (2018) en la tesis de grado **titulado** “Elaboración de Ladrillos Cerámicos Utilizando Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán en la Ciudad de Cuenca” de la Universidad de Cuenca, del modo que fijó el **objetivo**: La fabricación unidades de albañilería cerámicos con incorporación de lodos provenientes del tratamiento de agua potable. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Se elaboraron un total de 100 ladrillos con cinco tipos de mezclas de lodos aluminosos con dosificación que varía de 0 a 40% de donde 60 ladrillos se sometieron a 1000 °C para luego someter a ensayos un total de 16 ladrillos a resistencia a compresión y determinar la absorción de 20 ladrillos, teniendo como **resultado**, después de los ensayos, es que las unidades de albañilería mejor comportamiento tiene con la mezcla de 60:35:5 de acuerdo a la norma de ladrillos, finalmente, fija como **conclusiones**, que es viable adicionar lodos aluminosos en la fabricación de ladrillos, siendo favorable en beneficio económica y ambientalmente a la vez favorece en el ahorro de los recursos en la explotación de cantera y ayuda en el manejo de la disposición final del lodo.

Seguidamente se tiene Camargo & Yambay (2020) en la tesis de grado titulado “Elaboración de Ladrillos Artesanales Mediante el Aprovechamiento de Lodos Resultantes del Proceso de Depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe” de la Universidad Central del Ecuador fijó como **objetivos**: Fabricación de ladrillos artesanales con adición de lodo de PTAR-Q como elemento de uso en la industria de la construcción. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Esta investigación está guiada por la NTE INEN 3049-5, donde se elaboraron ladrillos con adición de lodo en dos estados como es de 10%, 15% y 20% cuando el lodo está húmedo y 5%, 10%, 15% cuando el lodo está seco. Consiguiente a su fabricación se realizó los ensayos mínimos según la norma que son las propiedades mecánicas de compresión y absorción, obteniendo como **resultados**, que el ladrillo con mejor comportamiento a la resistencia a la compresión es el ladrillo con incorporación de 5% de lodo en su estado húmedo donde se evidenció el incremento en un 23% en relación a los ladrillos comunes teniendo como **conclusiones** que es viable la incorporación de lodo PTAR-Q en la fabricación de ladrillos artesanales.

También se tiene a Sarabia et ál. (2021), en el artículo científico titulado “Efecto del Uso de Lodo Residual de las Plantas de Tratamiento de Agua como un Sustituto Parcial de Arcilla en la Producción de Ladrillos Refractarios”, fijo como **objetivos**: Examinar la adición en diferentes porcentajes de lodo a los ladrillos refractarios de aluminosilicatos de arcilla, aplicando una **metodología** de diseño experimental. Para la fabricación de los ladrillos se mezclaron con adición de diferentes porcentajes de lodo para luego coccionar a 1200 °C, donde las materias primas para la fabricación del ladrillo se caracterizan por DRX y FRX. Donde se realizaron ensayos en laboratorio evaluando contracción lineal, absorción, porosidad y resistencia a la compresión, obteniendo como **resultado**. Que al incrementar el punto de reblandecimiento de la arcilla se obtiene un ladrillo refractario con capacidad de resistir hasta 1430 °C de temperatura, esta modificación se obtiene con la incorporación de lodo de tratamiento de agua industrial en un 10% finalmente, fija como **conclusiones** que la adición de LPTAI hasta en un 10% en peso en mezclas de materiales arcillosos, da como resultado ladrillos refractarios de sílice con aluminios de bajo refractario, según la NTC 623.

Después se tiene a Fuentes et ál. (2017) en el Artículo Científico titulado “Biosolid treatment of domestic wastewater as additions in the manufacturing of ceramic bricks” fijó como **objetivos**: analizar las propiedades físico mecánicas de las unidades de albañilería para su empleo como material en las construcciones no estructurales. Aplicando una **metodología** de diseño experimental, elaborando 66 unidades de albañilería adicionando biosólidos en 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 30% sometiendo a estos ha ensayos en laboratorio para determinar la resistencia a la compresión y absorción (capilar, sumergida y ebullición). Teniendo como **resultado**. la resistencia a compresión del ladrillo patrón 29.8MPa es casi igual a los ladrillos con adición de biosólido seco 25.7MPa y del calcinado 28.5MPa superando al mínimo exigido por NTC-4205, propiedades mecánicas para 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 30% de biosólido la succión (0.47, 0,52; 0,50; 0,64; 0,48 y 0,50 gr/cm<sup>2</sup>/min), absorción sumergida (16.01, 16,75; 16,07; 16,23; 17,63 y 17,12%), absorción por ebullición (19.56, 19,96; 19,86; 19,75; 21,39 y 21,31%) Fija como **conclusiones**. La adición más óptima de biosólido es del 5%, 10% y 15%, las cuales superan en sus propiedades mecánicas al ladrillo patrón a la vez los valores mínimos dispuesto por la norma.

Y por último Erdogmus et ál. (2021) en el artículo científico titulado “Nuevos Materiales de Construcción Sintetizados a Partir de Lodos de Tratamiento de Agua y Residuos de Ladrillos de Arcilla Cocidos”, fijó como **objetivos**: evaluación de los lodos de depuradora en la construcción Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Se han fabricado ladrillos mediante la cocción a 1000 °C durante 2 h, la mezcla de lodos de tratamiento de agua (WTS) y residuos de ladrillos de arcilla cocido (BW), con dosificaciones de WTS en 25, 40, 55, 70, 85 y 100% del peso total de la mezcla obteniendo como **resultados**, los ladrillos que contienen 70 - 85% de WTS tienen mejores resultados, mientras que los ladrillos que contienen hasta un 40% de residuos de WTS presentan una resistencia a la compresión superior al doble del límite mínimo. Finalmente, fija como **conclusiones** que hay una influencia de los lodos de plantas de tratamiento de aguas y el residuo de ladrillos en las propiedades del ladrillo, por lo tanto, el lodo de tratamiento de agua (WTS) se puede emplear en la elaboración delos ladrillos.

## 2.2. Bases teóricas

Las teorías son desarrolladas con relación al tema y considerando las variables y dimensiones.

Relacionado al **lodo de aguas residuales**, Díaz (2019) dice que es la materia que se origina durante el tratamiento de aguas residuales siendo estas con densidades diferentes ya sea en estado líquido, sólido y/o semisólido. Para tratar las aguas residuales existen diferentes tratamientos que se le puede hacer, pero condicionado por su origen de este si son domésticos o industriales, el nivel de contaminación, etc. Para ello se tiene tres tipos de tratamientos tales como primarios, secundarios o terciarios. (p. 22-23)

Por otra parte, se tiene a EPA (2013), define como el residuo que se genera después del proceso en las PTAR de origen de uso doméstico o industrial, y estos con un tratamiento adecuado dependiendo de su procedencia que puede contener organismos perjudiciales para la salud de la población, pueden ser utilizados en actividades como la agricultura, construcción, entre otros. (p.1)

### Tipos de lodos

- **Lodos Primarios:** Limón (2013), estos tipos de lodos son de origen orgánico o inorgánico, que durante este tratamiento primario consiste en la separación del líquido de las aguas servidas de las partículas sólidas, quedando estas partículas como sedimentos. (p. 10)
- **Lodos secundarios:** Limón (2013) estos lodos son generados principalmente por implementar un tratamiento biológico a los desechos solubles y están constituidos principalmente de materia orgánica.” (p.10)
- **Lodo químico:** Orozco (2014), estos lodos se originan por el tratamiento que se le da a los sólidos suspendidos en el líquido utilizando compuestos químicos. (p.302)

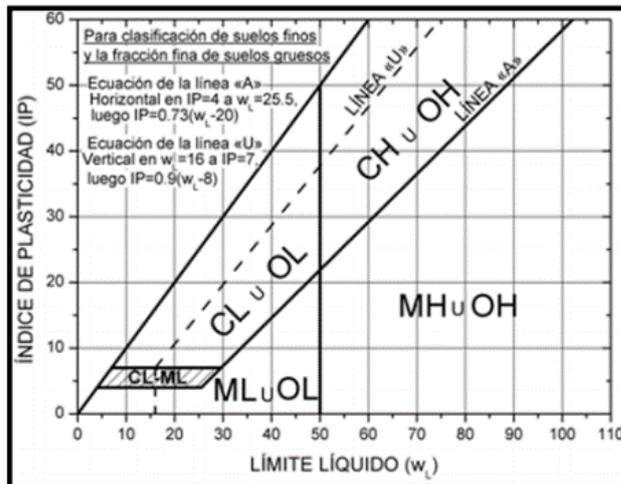
Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser la **plasticidad**; que según Badillo & Rodríguez (2005) se conceptúa a la plasticidad como la cualidad que posee un cuerpo de resistir deformaciones raudas sin presentar modificaciones en su volumen, sin rebote elástico, sin agrietamiento ni desmoronamiento. (p.127)

## Límites de Atterberg

Según Casteletti (2018), los límites de consistencia de los suelos cohesivos son índices importantes para su clasificación y por su relación con su comportamiento mecánico e hidráulico. Dependiendo estos del contenido de agua, tipo y contenido de arcilla. (p.81)

**Figura 3**

*Carta de plasticidad*

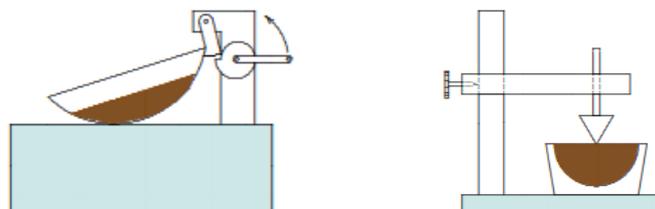


Fuente: ASTM D-2487-9

- **Límite líquido:** Braja (2012) define como el cambio o modificación del estado líquido al estado plástico de un suelo y se determina con la copa de casagrande; donde el ensayo consiste en aplicar 25 golpes a la copa de casagrande, donde el suelo con un determinado contenido de agua se cierre la ranura de 1/2 pulg (12.7 mm). (Prueba D-4318 de la ASTM) (p.15)

**Figura 4**

*Copa de casagrande*

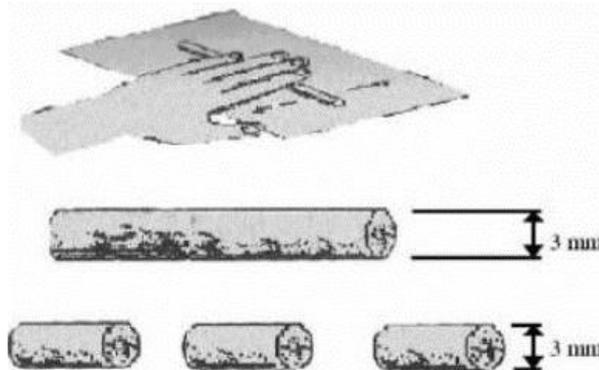


NOTA: Determinación del límite líquido utilizando la copa de Casagrande, Tomada de Verruijt (2011).

- **Límite plástico:** Braja (2012) explica cómo el cambio o modificación del estado plástico al estado semisólido de un suelo; donde el ensayo para determinar el límite plástico consiste en hacer rollitos del material de suelo con un determinado contenido de agua donde el diámetro del rollito es de 1/8 pulg (3.18 mm). (Prueba D-4319 de la ASTM) (p.15)

### Figura 5

*Determinación de límite plástico*



NOTA: Determinación del límite plástico, Tomada de Toirac (2008).

- **El índice de Plasticidad:** Braja (2012) se presenta cuando el suelo está en estado plástico para un determinado intervalo en el contenido de humedad y matemáticamente es el residuo entre el límite líquido y límite plástico. (p.50)

$$IP = LL - LP$$

Ec. 1

En seguida se considera el **diseño de mezcla**, que según Sánchez (1993), Consiste en dosificar o diseñar la mezcla, buscando cantidades relativas de cada material a utilizar en la composición de la mezcla, para de esa manera obtener un resultado eficiente y su empleo determinado. La cantidad y la manera como se aplican los materiales en la elaboración de la mezcla influyen en la variación de los resultados de sus propiedades de cada una de las mismas, es por ello es necesario contar con más de un método de dosificación. (p. 24)

Consideraciones para un diseño de una mezcla:

- Dosificación de la mezcla
- Comportamiento de mezcla
- Validación de la mezcla

Sobre las **propiedades físico mecánicas**, Gallegos & Casabonne (2005) define como las principales propiedades de la unidad de albañilería en su estado de fabricación terminada, y están relacionados directamente a la resistencia estructural y durabilidad. (p. 109).

Se entiende por propiedades físicas y mecánicas de la unidad de albañilería como los valores mínimos o máximos que se debe alcanzar en los diferentes ensayos normados por la Norma Técnica Peruana, para de esa manera poder controlar la calidad de la unidad de albañilería terminada.

Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser características como las **propiedades físicas**, que, según Gallegos y Casabonne (2005), son los principales atributos que tienen las unidades de albañilería en su estado de fabricación terminado.

Propiedades que influyen en la resistencia estructural son:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a tracción por flexión
- Variación de sus dimensiones
- Alabeos
- Succión

Por otra parte, tenemos a las propiedades que se asocian con su durabilidad como son:

- Resistencia a la compresión
- Absorción máxima
- Absorción
- Coeficiente de saturación

### **Clasificación para fines estructurales**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.070, Con fines de diseño estructural, las unidades de albañilería de diferentes tipos de fabricación deberán cumplir con las especificaciones indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'b mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		
	Ladrillo I	± 8	± 6		
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)

Fuente: NTP E.070

Ladrillo I. "Resistencia y durabilidad muy bajas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias de servicio sean mínimas. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo II. "Resistencia y durabilidad bajas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias de servicio sean moderadas. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo III. "Resistencia y durabilidad media". Se puede emplear en construcciones de albañilería en forma general. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo IV. "Resistencia y durabilidad altas". El uso es limitado solo para construcciones donde las exigencias de servicio son rigurosas. NTP 331.017 (1978).

Ladrillo V. "Resistencia y durabilidad muy altas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias son particularmente rigurosas. NTP 331.017 (1978)

Además, se tiene en la Norma Técnica Peruana publicada en 1978, ITINTEC 331.017, donde los ladrillos de arcilla se clasifican como indica la siguiente tabla.

**Tabla 2**

Requisitos obligatorios de los ladrillos de arcilla según la ITINTEC 331.017

Tipo	Absorción (máx. en %)	Coefficiente de saturación	Módulo de ruptura (daN/cm <sup>2</sup> )	Densidad (mínimo en gr/cm <sup>3</sup> )
I	Sin límite	Sin límite	6	1.50 – Sin límite
II	Sin límite	Sin límite	7	1.55 – 1.60
III	25	0.90	8	1.60
IV	22	0.88	9	1.65
V	22	0.88	10	1.70

Fuente: ITINTEC 331.017

En seguida se considera a las **propiedades mecánicas** que según (Phaiju & Pradhan (2018), para determinar las propiedades mecánicas; Se requieren determinar la resistencia a compresión, módulo de elasticidad, módulo de corte para analizar y diseñar las estructuras de mampostería. Dependiendo de la calidad de los materiales, tamaño, mano de obra de la construcción, estos valores tienen un amplio rango de adaptabilidad.

En seguida se considera la **resistencia a la compresión** que, según Gallegos y Casabonne (2005), es la principal propiedad del ladrillo donde los resultados altos en esta resistencia indican de la buena calidad del ladrillo en el uso con fines estructurales y de exposición, y para los resultados bajos de resistencia a la compresión todo lo inverso a lo indicado. Además, la resistencia a compresión no solo es atribuida a la masa, sino también a la altura y forma del ladrillo (pp. 111-113).

- **Resistencia a la compresión axial**

Se emplea la siguiente ecuación en la determinación de  $f_b$  cada unidad:

$$f_b = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$f_b$ : Resistencia a compresión de una unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{m\acute{a}x}$ : Carga máxima de compresión (kg)

A: Área total de la sección transversal (cara de asentado) (cm<sup>2</sup>)

En tanto para calcular  $f'_b$  se obtiene empleando la ecuación:

$$f'_b = f_{b \text{ prom.}} - \sigma \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

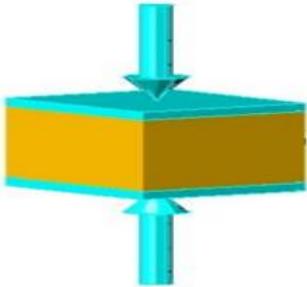
$f'_b$ : Resistencia a la compresión característica de la unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{m \text{ prom.}}$ : Resistencia a la compresión promedio de la unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Desviación estándar

### Figura 6

*Resistencia a la compresión axial*



Fuente: Tomada de (Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA, n.d.)

- **Resistencia a la compresión uniaxial**

Consiste en determinar la resistencia a compresión que puede soportar una pila de ladrillo empleando la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P_{\text{máx}}}{A} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$f_m$ : Resistencia a compresión uniaxial en pila (kg/cm<sup>2</sup>).

$P_{\text{máx}}$ : Carga máxima que resiste la pila (kg)

A: Área total transversal donde se aplica la fuerza (cm<sup>2</sup>)

Para corregir esta resistencia se utiliza la siguiente tabla 1, esto en función de su esbeltez de cada pila objeto de ensayo.

**Tabla 3**

*Factores de corrección según la norma E.070*

Factor de corrección de $f_m$ por esbeltez						
Esbeltez	2	2.5	3	4	4.5	5
factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1

Fuente: NORMA E.070.

Se calculará la resistencia característica con:

$$f'_m = f_{m \text{ prom. corregida}} - \sigma \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

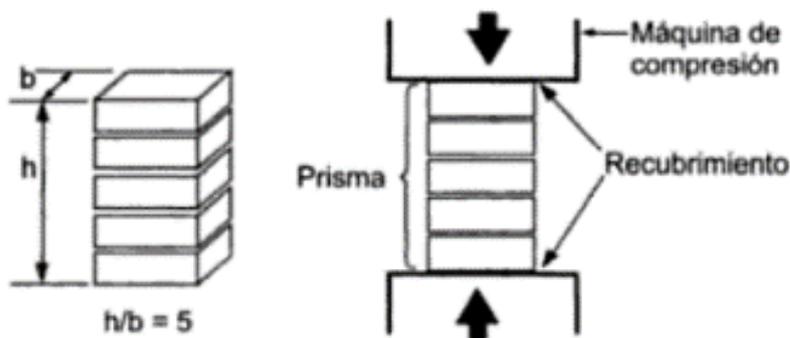
$f'_m$ : Resistencia a compresión axial característica de la pila ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$f_{m \text{ prom. corregida}}$ : Resistencia a compresión axial promedio corregida en pila ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma$ : Desviación estándar

**Figura 7**

*Resistencia a la compresión uniaxial en prisma*



Fuente: ASTM D-2487-9

La resistencia a la compresión axial se obtiene a través de la realización de pruebas mecánicas en las pilas, donde los resultados son indispensables para calcular el módulo de elasticidad donde éste es necesario para el diseño en albañilería. La norma E.070 “Albañilería” establece los valores mínimos de las resistencias características de la albañilería para diferentes tipos de ladrillos.

**Tabla 4***Resistencias características de la albañilería MPa (kg/cm<sup>2</sup>)*

<b>Materia</b>	<b>Clase</b>	<b>Unidad</b>	<b>Pilas</b>	<b>Muretes</b>
<b>Prima</b>		<b>f'<sub>b</sub></b>	<b>f'<sub>m</sub></b>	<b>v'<sub>m</sub></b>
	Clase I - Artesanal	4.9 (50)	3.4 (35)	0.50 (5.1)
	Clase II - Artesanal	6.9 (70)	3.9 (40)	0.55 (5.6)
Arcilla	Clase III - Artesanal	9.3 (95)	4.6 (47)	0.64 (6.5)
	Clase IV - Artesanal	12.7 (130)	6.4 (65)	0.79 (8.1)
	Clase V - Artesanal	17.6 (180)	8.3 (85)	0.90 (9.2)
Concreto	Industrial Portante	17.5 (178)	7.0 (71)	0.44 (4.5)
Sílice-Cal	Industrial Portante	12.6 (129)	10.1 (103)	0.93 (9.5)

Fuente: NTP E.070

**Módulo de elasticidad**

Unidades de arcilla:

$$E_m = 500 f'_m \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

f'<sub>m</sub>: Resistencia a compresión axial característica de la pila (kg/cm<sup>2</sup>).E<sub>m</sub>: Módulo de elasticidad de la unidad de albañilería

Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser propiedades como **resistencia a la tracción**, según Fernández et ál. (2014) los ladrillos se comportan de manera similar al hormigón o la piedra. La resistencia a la flexión es muy baja en comparación con la resistencia a la compresión dependiendo principalmente de la fuerza de los granos minerales y la matriz que los une, Además, existe cierta dependencia de la composición química, las inclusiones y la cantidad y dimensiones de los poros. Porque la fuerza depende en gran medida de la zona más débil, la arcilla cruda homogénea con pocas impurezas proporciona una mayor resistencia a la tracción. (p.9)

Se calcula la resistencia a la tracción por flexión de cada unidad con la siguiente ecuación:

$$f'_{br} = \frac{3P_u l}{2bt_b^2} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

$P_u$ : Carga de rotura (kg/cm<sup>2</sup>).

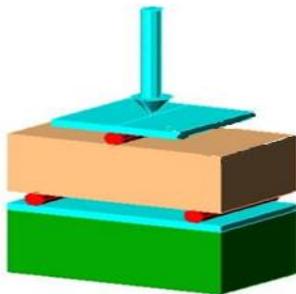
$l$ : Distancia entre los puntos de apoyo

$b$ : Ancho

$t_b$ : Altura

### Figura 8

*Resistencia a la tracción por flexión*



Fuente: Tomada de (Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA, n.d.)

Y finalmente se considera a las **características del ladrillo** que según arkiplus (2021), “en las construcciones es conveniente y deseable el empleo de ladrillos de la mejor calidad, por lo que generalmente los bueno ladrillos tienen las siguientes características”

- **Peso:** En general, el peso por ladrillo debe ser de 6 lbs. y el peso unitario debe ser inferior a 125 lbs. por pie cúbico
- **Color:** naranja a rojo
- **Textura:** Deben poseer una textura fina, densa y uniforme. No deben poseer fisuras, cavidades, arena suelta y cal sin quemar.
- **Solidez:** Cuando se golpea con un martillo o con otro ladrillo, debe producir un sonido metálico.
- **Dureza:** Al raspar con los dedos no debe producir ninguna impresión en el ladrillo.

## Definición de términos

- **Absorción.** La capacidad que tiene un cuerpo para atrapar agua cuando alcanza un estado de saturación, mide la cantidad de agua que capta el ladrillo cuando este es sumergido durante 24 horas.
- **Aguas residuales.** Es el agua donde su calidad y color fueron afectadas de una manera negativa por acción del hombre, que pueden ser de origen doméstico, industrial, mineros, urbanas o la mezcla de los anteriores.
- **Albañilería.** material estructural construido en base a ladrillos y mortero.
- **Densidad.** Es la cuantificación del material sólido que se encuentra comprimido en un volumen determinado, es decir; la cantidad de masa por unidad de volumen.
- **Ladrillo.** Se considera al material de construcción elaborado a base de arcilla (cerámica), siendo esta sólida o con huecos y que es de fácil manipulación con una sola mano.
- **Ladrillo artesanal.** Ladrillo fabricado manualmente, donde el mezclado en ciertos casos se extruye a baja presión. El ladrillo se caracteriza por presentar variaciones de unidad a unidad.
- **Lodo.** suspensión de sólidos en un líquido o sedimentado en cuencas.
- **Mezcla.** Agregación de varias muestras puntuales tomadas por peso o volumen.
- **PTAR.** planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Resistencia estructural.** Manera en que un material aguanta esfuerzos externos como son compresión, tensión, incluso altas temperaturas.
- **Saturación.** Se refiere cuando todos los espacios vacíos del ladrillo están llenos de agua.
- **Succión.** Es la capacidad inicial que tiene el ladrillo de absorber el agua por capilaridad cuando esté en contacto con él, se mide en gramos de agua que absorbe por cada cm<sup>2</sup> de área de contacto durante un minuto.
- **Unidad de albañilería sólida.** Se refiere al ladrillo donde el área paralela a la sección donde se asienta es mayor al 70% del área total de esa sección.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Método

Según Arias (2012) opina que el método científico es la aplicación de las técnicas de una manera ordenada en la formulación de problemas de investigación y con ayuda de las pruebas de hipótesis resolver estos problemas planteados. (p. 19).

Se emplea el método científico, porque se llegará a una conclusión partiendo de una idea hipotética – deductiva, para ello se ha planteado que los ladrillos artesanales con incorporación de lodo de aguas residuales en diferentes porcentajes mejoran en sus propiedades físico mecánicas por consiguiente su utilización como unidad de albañilería alternativo en las edificaciones en la ciudad de Puno.

Según lo desarrollado en el párrafo anterior, en esta investigación se aplicó el método ***científico***.

##### 3.1.2. Tipo

Según Niño (2011) considera que el tipo aplicada, “está orientada a dar soluciones a los problemas prácticos, llevando a la práctica las teorías dentro de la aplicación de la ciencia”. (p.38)

Se busca una alternativa de solución a los bajos valores que tienen los ladrillos artesanales en sus propiedades físico mecánicas, reemplazando con un material como el lodo de aguas residuales en la mezcla de barro durante la elaboración de ladrillos artesanales sólidos de arcilla en la ciudad de Puno, para lo cual esta investigación pretende elaborar un nuevo material de construcción (ladrillo artesanal), donde a los ladrillos artesanales sólidos se incorporó porcentajes de lodo en 0%, 5%, 10%, 20% y 40%, donde en los ensayos de laboratorio se tiene una modificación en las propiedades físico mecánicas debido a la incorporación de lodo de aguas residuales.

De lo señalado en la teoría desarrollada líneas arriba, esta investigación se clasifica del tipo ***aplicada***.

### **3.1.3. Nivel**

Según Palella & Martins (2012), conceptúa que el nivel explicativo, se orienta a encontrar relaciones de causa efecto para de esa manera conocer con mayor exactitud las causas y señalar el origen de un conjunto de eventos complejos. (p.93)

Basándose en esta definición, la investigación es de nivel explicativo, porque la finalidad es explicar cómo afecta la incorporación de lodo proveniente de la PTAR en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal sólido.

Bajo esta consideración la presente investigación corresponde al nivel ***explicativo***.

### **3.1.4. Diseño**

Según Banea (2014), el diseño experimental consiste en manipular una variable no comprobada pero estrictamente controlada, para de esa manera medir el efecto que produce en otras variables esa condición en particular. (p.14)

En esta investigación se manipulan intencionalmente el lodo de aguas residuales, incorporando en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en la fabricación de ladrillos artesanales sólidas, como consecuencia de esto se modificará las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal.

Bajo este análisis la investigación corresponde al nivel ***experimental***.

## **3.2. Variables y operacionalización**

### **3.2.1. Variable 1: Lodo de aguas residuales**

#### **Definición Conceptual**

EPA (2013), define como el residuo que se genera después del proceso en las PTAR de origen de uso doméstico o industrial, y estos con un tratamiento adecuado dependiendo de su procedencia que puede contener organismos perjudiciales para la salud de la población, pueden ser utilizados en actividades como la agricultura, construcción, entre otros. (p.1)

#### **Definición operacional**

Mide la plasticidad y el porcentaje de incorporación de lodo de aguas residuales para el diseño de mezcla en la elaboración del ladrillo artesanal sólido.

### **3.2.2. Variable 2: Propiedades físico mecánicas del ladrillo**

#### **Definición Conceptual**

Ravi (2015), define como propiedades físico mecánicas a la resistencia a compresión, densidad, absorción, etc. de la unidad de ladrillo. Donde además de estos existen otros factores que tienen un rol muy sustancial en las estructuras de mampostería como son la unidad de albañilería y el mortero. (p. 9)

#### **Definición operacional**

Conjunto de ensayos de laboratorio que miden las propiedades físico mecánicas del ladrillo tales como son; propiedades físicas, propiedades mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido.

**Tabla 5**  
**Matriz de Operacionalización de variables**

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Lodo de aguas residuales	Los lodos son subproductos con diferentes densidades que pueden ser líquidos, sólidos o semisólidos, son generados al momento de tratar las aguas residuales para estos elementos existen tratamientos primarios, secundarios o terciarios según el origen de estos, si son domésticos o industriales y dependiendo el porcentaje de contaminación dentro de estos. (Díaz Granados, 2019)	Mide la plasticidad y el porcentaje de lodo proveniente de planta de tratamiento de aguas residuales para el diseño de mezcla para la elaboración del ladrillo artesanal sólido.	Plasticidad  Diseño de mezcla	I1: Límite plástico I2: Límite líquido I3: Índice de plasticidad  I1: Porcentaje de lodo I2: Granulometría	De razón
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Propiedades físico mecánicas	Se define como las principales propiedades de la unidad de albañilería en su estado de fabricación terminada, y están relacionados directamente a la resistencia estructural y durabilidad. (Gallegos & Casabonne, 2005)	Conjunto de ensayos de laboratorio que miden las propiedades físico mecánicas del ladrillo como son; propiedades físicas, mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido.	Propiedades físicas  Propiedades mecánicas  Características del ladrillo	I1: Variación dimensional I2: Alabeo I3: Densidad I4: Absorción I5: Succión I1: Resistencia a la compresión axial I2: Resistencia a la compresión uniaxial I3: Resistencia a la Tracción I1. Peso I2: Color I3 Textura I4: Solidez I5. Dureza	De razón

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

Según Arias (2012), define como el conjunto de elementos que tienen características comunes y que la conclusión de la investigación es aplicable para todos estos elementos. La población está fijada por el problema y objetivo de la investigación. (p. 81)

En la presente investigación se consideró un total de 150 ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% divididas en cantidades iguales, las cuales se someterán a ensayos en laboratorio.

#### **3.3.2. Muestra**

Según Ñaupas et al. (2014), la muestra es el subconjunto, o parte de la población, seleccionado por diversos métodos, pero buscando la representatividad de la población, según las características del objeto del universo. (p.165)

En la presente investigación la muestra está conformado por 15 pilas de ladrillo con incorporación de lodo de aguas residuales en 0%, 5%, 10%, 20% y 40%, en partes iguales y 110 unidades de ladrillo artesanal sólidas con incorporación de lodo de PTAR en 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en partes iguales.

#### **3.3.3. Muestreo**

Según Cabezas et al. (2018), el tipo de muestreo no probabilístico, se presenta cuando el investigador selecciona las muestras simplemente atendiendo por las razones de comodidad, es decir, para integrar la muestra se desconoce la probabilidad que tienen los elementos dentro de la población (p.100)

En la presente investigación se empleó el muestreo **no probabilístico**, porque no sigue el proceso aleatorio al azar y la muestra no es representativa de la población.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas.**

Según Bernal (2010), la observación directa, con el pasar del tiempo esta técnica tiene mayor credibilidad, siendo su uso de forma general debido a que permite tener

información directa y confiable mediante procedimientos sistemáticos muy controlados. (p.194)

La técnica empleada en el desarrollo de esta investigación es la **observación directa** que consiste en la recopilación de la información.

### 3.4.2. Instrumentos.

Según Rojas (2013), la ficha de recopilación de información consiste en la obtención de información, mediante el uso de guías de observación y entrevistas, en las que se concentra y resume la información que se obtiene de trabajo de campo o reconocimiento de la zona objeto de estudio. (p.107)

En la presente investigación se aplicó como instrumento la **ficha de recopilación de información**; cuyo diseño se muestra en el anexo 02.

### 3.4.3. Validez.

Para la presente investigación los instrumentos se validaron por el juicio de expertos, como refiere Escudero & Cortez (2017), que es el propósito de cumplir los estándares de rigor científico independientemente al enfoque que se le da cada investigación y con el fin de tener resultados más confiables. (p. 91)

Los instrumentos en la presente investigación están validados por **juicio de expertos**, donde los instrumentos fueron juzgados (Anexo 2). La calificación promedio se obtiene por el método de alfa de cronbach (Anexo 2) de los tres expertos, donde el promedio es 0.82 que interpreta como excelente validez a los instrumentos.

**Tabla 6**

*Interpretación de la validez*

<b>Rango</b>	<b>Interpretación</b>
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.0	Validez perfecta

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7**

*Validez de los instrumentos de las variables: V1 Lodo de aguas residuales y V2 Propiedades físico mecánicas del ladrillo, por juicio de expertos*

N°	Grado académico	Nombres y Apellidos	DNI	Dictamen
1	Dr.	Germán Belizario Quispe	01295478	Instrs. Válidos
2	Mg.	Rogelio Noa Aliaga	01327588	Instrs. Válidos
3	Mg.	Alfredo Alarcón Atahuachi	01335859	Instrs. Válidos

Fuente: Elaboración Propia.

#### **3.4.4. Confiabilidad**

Como refiere Gallardo & Moreno (1999), donde señala que cuando los instrumentos tienen confiabilidad los resultados serán similares si se aplica a este mismo objeto. En resumen, hace referencia que la aplicación reiterada del instrumento a un determinado objeto, tiene que producir iguales resultados. (p. 47)

Para la presente investigación se contó con **instrumentos de recolección de datos** para los ensayos de laboratorio, los cuales fueron ejecutados con instrumentos calibrados.

#### **3.5. Procedimientos**

Una vez cumplido con la validación de los instrumentos y la determinación de su confiabilidad, el punto de partida será la recolección de la muestra de lodo de aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales - Espinar en Puno, para luego elaborar ladrillos en la planta ladrillera artesanal con incorporación de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo de aguas residuales, posteriormente mediante la observación directa se realizará los ensayos en laboratorio donde se determinará las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal con incorporación de lodo de aguas residuales como son: Propiedades físicas, propiedades mecánicas y características, donde, se aplicarán los instrumentos, recolectando la información en ficha de recopilación de información, cuyos datos se procesarán con el software Microsoft Excel y SPSS26 para luego interpretar sus resultados.

### 3.5.1. Estudios previos

#### 3.5.1.1. Estudios de campo

- **Estudios de exploración en la planta de tratamiento de aguas residuales (Laguna de oxidación Espinar – Puno)**

Se refiere al reconocimiento de la laguna de oxidación ubicada en coordenadas UTM E: 392,436.00 y N: 8'247,029.00 (Ver anexo 4) de donde se extrajo las muestras de lodo para incorporar en la fabricación de ladrillos artesanales en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% respecto al volumen total de cada mezcla.

#### **Figura 9**

*Extracción de lodo de aguas residuales en la laguna de oxidación de Espinar - Puno*



Fuente: Elaboración propia

- **Estudios de exploración de cantera de materia prima para la elaboración de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – Puno**

Se refiere al reconocimiento de la cantera de donde se extrajo la materia prima para la elaboración de ladrillos, ubicado en el centro Poblado de Salcedo – la Rinconada, Distrito de Puno específicamente en las coordenadas UTM E: 392,853.00 y N: 8'242,789.00 (Ver anexo 4) de donde

se extrajo para mezclar con el lodo en porcentajes de 100%, 95%, 90%, 80% y 60% respecto al volumen total de cada mezcla

### **Figura 10**

*Extracción de material de cantera en centro poblado de Salcedo - Puno*



Fuente: Elaboración propia

- **Elaboración de unidades de albañilería sólidas**

Consistió en el mezclado y la elaboración de unidades de albañilería sólidas artesanales con adición de lodo de aguas residuales en 0%, 5%, 10%, 20% y 40% respecto al volumen total de cada mezcla. Donde después del secado en lapso de 15 días se llevó al horno artesanal para la cocción, en hornos artesanales que existen en el centro poblado de Salcedo – la Rinconada.

**Figura 11**

*Elaboración de ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 12**

*Secado de los ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*



Fuente: Elaboración propia

- **Elaboración de Prismas de ladrillo**

Se refiere a la elaboración prismas de ladrillo para cada tipo de mezcla 0%, 5%, 10%, 20% y 40% con adición de lodo de aguas residuales, adheridas con mortero de cemento y arena con dosificación de mortero de 1:4 (Ver anexo 3) y que este se sometió al secado durante el tiempo de 14 días, para posteriormente someter a cargas de fuerza.

**Figura 13**

*Elaboración de prismas de ladrillo con incorporación de lodo en diferentes porcentajes de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.2. Estudios de laboratorio

A la materia prima de cantera se realizaron los ensayos para determinar la plasticidad con los siguientes ensayos.

Límite líquido : MTC E-110

Límite plástico : MTC E-111

Índice de plasticidad

Se realizó el análisis de granulometría del lodo en estado seco (Anexo 3) donde la clasificación del lodo según SUCS: SC (arenas arcillosas mal gradadas) y la clasificación según AASHTO: A-6(3) (arcillas inorgánicas de plasticidad mediana).

Mientras que en los ensayos para determinar la plasticidad se obtuvo los resultados siguientes: Límite Líquido = 37.13%, Límite plástico = 25.44% y el índice de plasticidad = 11.69% (Anexo 3).

#### **Figura 14**

##### *Ensayo de granulometría del lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se realizó ensayos en laboratorio tanto en las unidades de albañilería (unidad) y las primas de ladrillo donde se determinarán las propiedades físicas y mecánicas (Anexo 3) empleando las siguientes Normas Técnicas Peruanas.

Variación dimensional	: NTP 399.604 y 399.613
Alabeo	: NTP 399.613
Densidad	: NTP 399.613
Absorción	: NTP 399.604 y 399.613
Succión	: NTP 399.613
Resistencia a la compresión axial	: NTP 399.604 y 399.613
Resistencia a la compresión uniaxial	: NTP 399.605
Resistencia a la tracción	: NTP 399.613

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para la realización del análisis de datos se tendrán las siguientes consideraciones.

- La estadística descriptiva e inferencial se realizó aplicando el Microsoft Excel, ANOVA y SPS.
- Los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo se realizaron en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L. con equipos e instrumentos calibrados (Ver anexo 3).

**OE1: Determinación que si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

**a. Actividades a realizar**

- 1 Recolección de muestra de lodo en la planta de tratamiento de aguas residuales – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 2 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).
- 3 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
- 4 El amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
- 5 La elaboración de ladrillos sólidos fue fabricada manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm. Para luego dejar a la exposición del sol y en la noche cubrir de las fuertes heladas, para que de esa manera tenga un secado uniforme, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
- 6 Una vez secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando dentro del horno para que enfríe durante 3 días (Ver anexo 5).

7 La realización de los ensayos se realizó en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L. siguiendo los protocolos citados en la presente investigación y recolectando los datos para su posterior análisis e interpretación (Ver anexo 3).

### 3.6.1.1. Variación dimensional

**Figura 15**

*Ensayo de en laboratorio de Variación dimensional*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	203	204	203	202	203.0	108	108	108	108	108.0	66	66	68	68	67.0
E-02	204	205	206	205	205.0	109	108	110	109	109.0	63	63	63	63	63.0
E-03	206	207	208	207	207.0	108	110	108	110	109.0	62	62	62	62	62.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	205.00				Prom	108.67				Prom	64.00
				$\sigma$	2.00				$\sigma$	0.58				$\sigma$	2.65
				$\delta$	3.00				$\delta$	0.76				$\delta$	1.35
				%V	1.43%				%V	0.69%				%V	1.99%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	204	202	201	201	202.0	109	110	109	108	109.0	61	63	62	62	62.0
E-02	202	202	200	200	201.0	108	110	109	109	109.0	63	64	64	65	64.0
E-03	201	201	203	203	202.0	110	110	111	109	110.0	64	63	62	63	63.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	201.67				Prom	109.33				Prom	63.00
				$\sigma$	0.58				$\sigma$	0.58				$\sigma$	1.00
				$\delta$	7.76				$\delta$	0.09				$\delta$	4.00
				%V	3.69%				%V	0.08%				%V	5.88%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	199	200	199	198	199.0	106	108	107	107	107.0	66	67	68	67	67.0
E-02	201	202	203	202	202.0	108	108	108	108	108.0	65	65	64	66	65.0
E-03	200	202	203	203	202.0	109	107	109	107	108.0	61	62	63	62	62.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	201.00				Prom	107.67				Prom	64.67
				$\sigma$	1.73				$\sigma$	0.58				$\sigma$	2.52
				$\delta$	7.27				$\delta$	1.76				$\delta$	0.82
				%V	3.46%				%V	1.60%				%V	1.20%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	203	202	202	201	202.0	109	108	110	109	109.0	65	66	66	67	66.0
E-02	204	203	203	202	203.0	107	108	107	106	107.0	65	66	65	64	65.0
E-03	202	202	202	202	202.0	109	109	109	109	109.0	61	60	60	59	60.0
				Lo	220.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	202.33				Prom	108.33				Prom	63.67
				$\sigma$	0.58				$\sigma$	1.15				$\sigma$	3.21
				$\delta$	7.09				$\delta$	0.51				$\delta$	1.12
				%V	3.38%				%V	0.47%				%V	1.65%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12**

*Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	201	202	200	201	201.0	100	102	102	100	101.0	66	65	65	64	65.0
E-02	200	200	198	198	199.0	105	106	104	105	105.0	61	60	60	59	60.0
E-03	198	198	199	197	198.0	106	105	104	105	105.0	63	64	64	65	64.0
				Lo	220.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	199.33				Prom	103.67				Prom	63.00
				$\sigma$	1.53				$\sigma$	2.31				$\sigma$	2.65
				$\delta$	9.14				$\delta$	4.02				$\delta$	2.35
				%V	4.35%				%V	3.66%				%V	3.46%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13**

*Resumen de la variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación en porcentajes de lodo de aguas residuales*

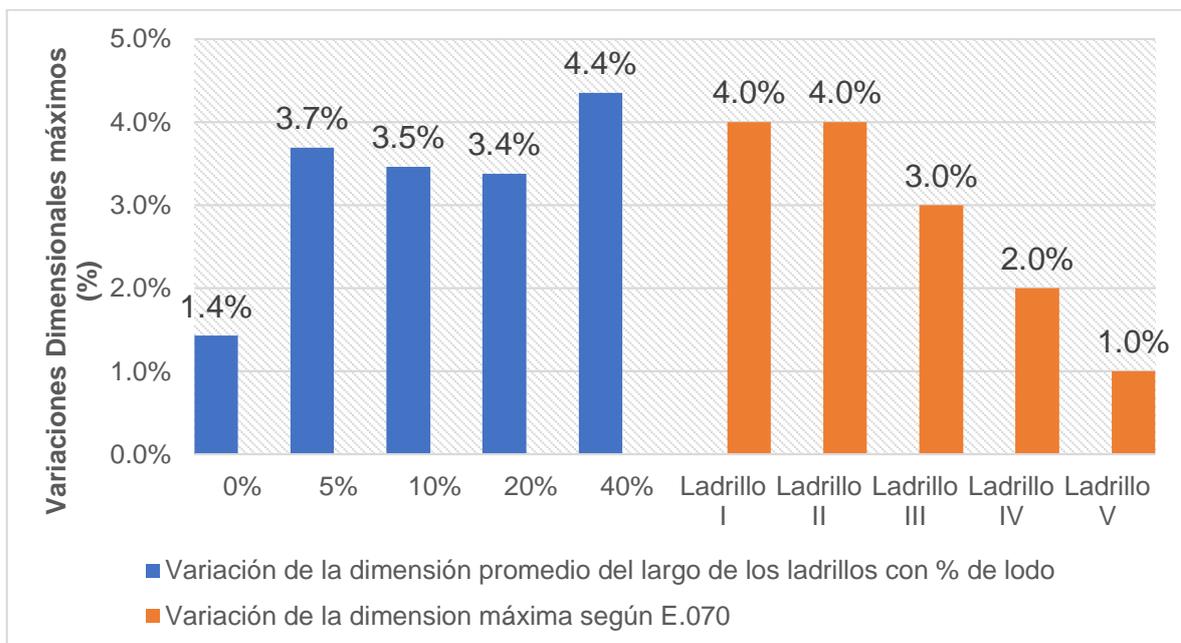
Muestra	% adición de lodo	Variación dimensional						Clasificación Según norma E.070
		L (%)	L (mm)	A (%)	A (mm)	H (%)	H (mm)	
M-01	0%	1.4	3.00	0.7	0.76	2.0	1.35	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	3.7	7.76	0.1	0.09	5.9	4.00	Ladrillo Tipo II
M-03	10%	3.5	7.27	1.6	1.76	1.2	0.82	Ladrillo Tipo II
M-04	20%	3.4	7.09	0.5	0.51	1.6	1.12	Ladrillo Tipo II
M-05	40%	4.4	9.14	3.7	4.02	3.5	2.35	Sin clasificación

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 nos muestra la variación dimensional que hay en largo, ancho y altura para cada ladrillo con incorporación de lodo en porcentajes diferentes, donde menor variación dimensional se presenta en el largo es el ladrillo con 0% de adición de lodo, y en los ladrillos que poseen adición de lodo se incrementa ligeramente. En relación a la variación del ancho el porcentaje de variación más bajo se presenta en la M-01 que tiene 5% de lodo mientras que el ladrillo que tiene 40% de lodo tiene mayor variación. Finalmente, en relación a la variación de la altura el menor porcentaje de variación se presenta en M-03 que contiene 10% de lodo mientras que la M-02 con 5% de lodo se presenta la variación más alta en relación a la altura.

**Figura 16**

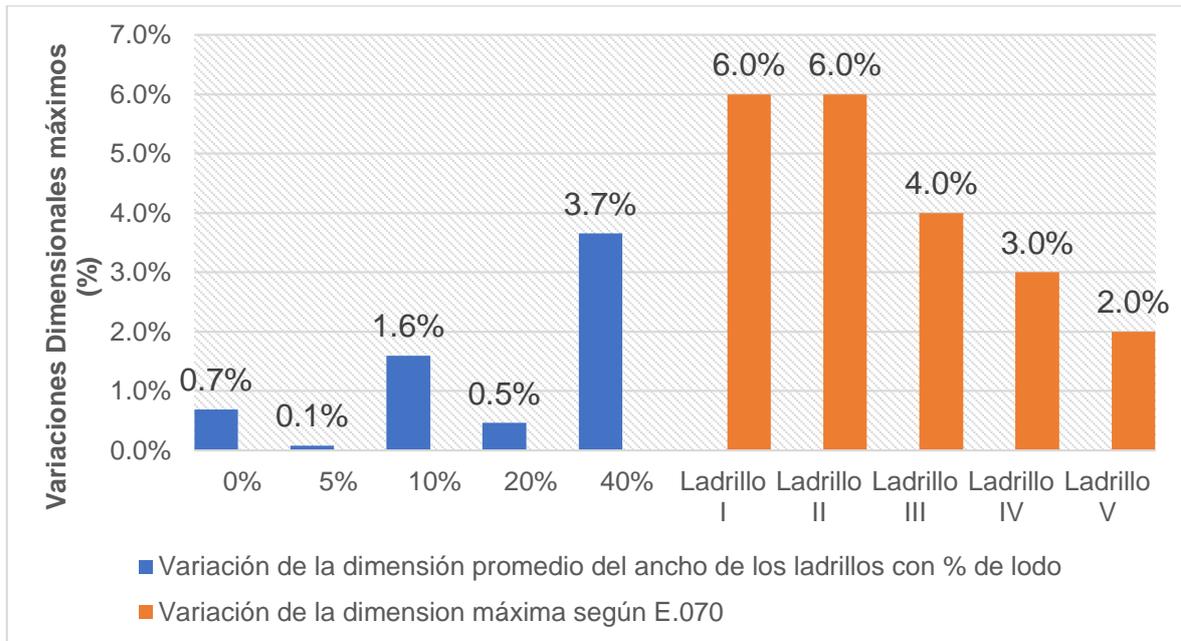
*Variación dimensional del largo en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 17**

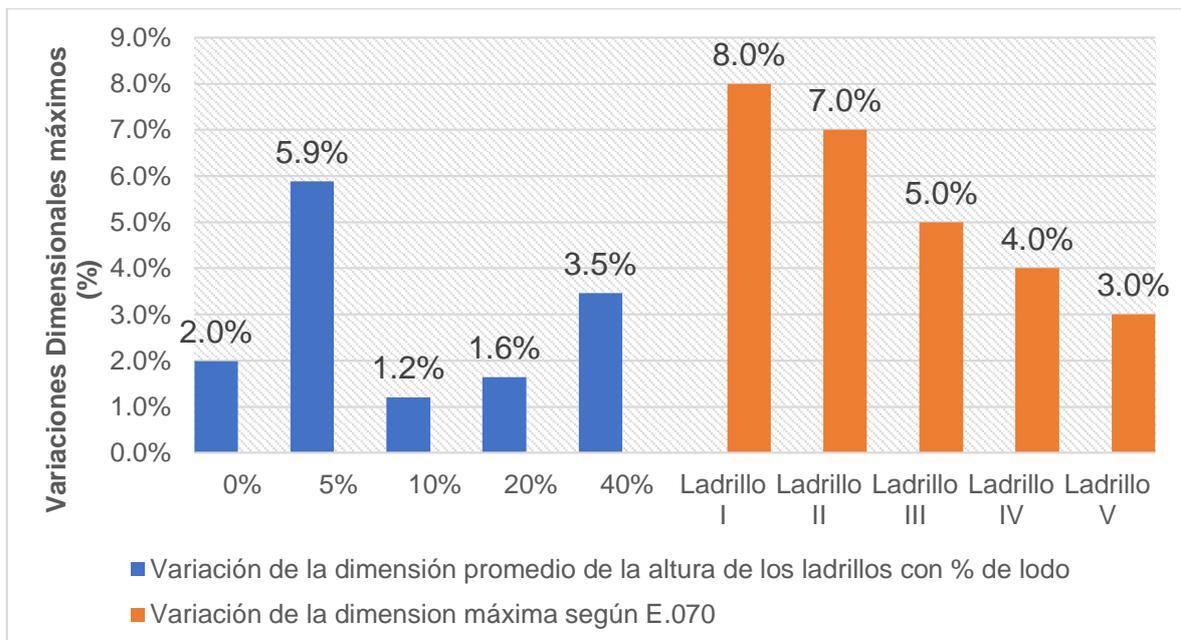
*Variación dimensional del ancho en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 18**

*Variación dimensional de la altura en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 16, 17 y 18, se muestran las variaciones del largo, ancho y altura para los diferentes ladrillos con adición de lodo y los valores máximos que establece la norma E 0.70, donde la variación para los ladrillos con adición de lodo en 0% se clasifican como Tipo IV, mientras que los ladrillos con 5%, 10% y 20% en el largo está al límite con los valores de clasificación del ladrillo Tipo II, Asimismo el ladrillo con adición de 40% no tiene clasificación puesto que supera el máximo valor para una clasificación de ladrillo de Tipo I. La variación de dimensiones en el ancho y altura no superan el valor máximo para una clasificación de ladrillo de Tipo I. Por el gráfico se puede apreciar que no hay una tendencia uniforme en la variación de sus dimensiones, por lo que en la variación de los ladrillos puede influir como la mano de obra, secado, etc. que afectan la variación de las dimensiones.

### 3.6.1.2. Alabeo

#### Figura 19

*Ensayo en laboratorio de Alabeo*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			0.50	0.50	2.00	2.50		
E-2			1.00	1.00	1.00	2.50		
E-3	2.00	2.50			2.00	3.00		
			Cóncavo		2.19			
			Convexo		0.75			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			0.50	0.50	2.00	1.50		
E-2			1.50	1.50	2.50	1.50		
E-3			1.00	1.00	1.50	2.50		
			Cóncavo		1.92			
			Convexo		1.00			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1	-	-	1.00	2.00	1.50	2.00	-	-
E-2	-	-	2.00	1.00	4.00	4.00	-	-
E-3	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	0.50
			Cóncavo		2.25			
			Convexo		1.25			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			1.00	1.00	1.50	2.50		
E-2			1.50	1.50	3.50	4.00		
E-3			1.00	1.00	2.00	1.50		
			Cóncavo		2.50			
			Convexo		1.17			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
	E-1	1.00	1.00	-	-	4.00	3.50	-
E-2	-	-	1.50	1.50	2.50	1.50	-	-
E-3	-	-	1.00	1.50	3.00	3.50	-	-
			Cóncavo		2.50			
			Convexo		1.38			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19**

*Resumen del alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

Muestra	% adición de lodo	Alabeo		Clasificación Según norma
		Concavidad	convexidad	
		mm	mm	
M-01	0%	2.19	0.75	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	1.92	1.00	Ladrillo Tipo V
M-03	10%	2.25	1.25	Ladrillo Tipo IV
M-04	20%	2.50	1.17	Ladrillo Tipo IV
M-05	40%	2.50	1.38	Ladrillo Tipo IV

Fuente: Elaboración propia

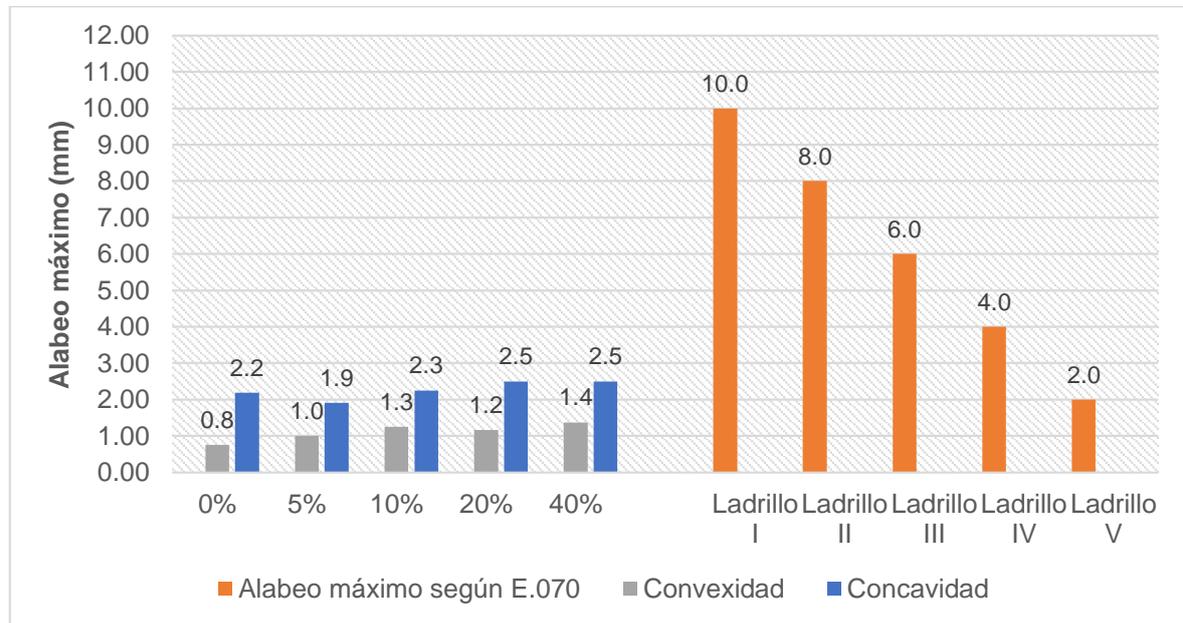
La Tabla 19 nos muestra el alabeo del ladrillo para diferentes porcentajes de adición de lodo y su clasificación, donde el mayor alabeo se presenta en el ladrillo con adición de lodo en 40% incrementándose respecto al ladrillo con 0% de adición de lodo tanto en la concavidad y convexidad en 14.2% y 84.0% respectivamente.

Cuando la junta de la albañilería sea menor, la resistencia que alcance la albañilería será mayor. De lo dicho como el ladrillo es de tipo IV podemos decir que la junta del mortero no necesita ser mayor a 12.5 mm para llegar al espesor máximo de la

junta de 1.5 cm recomendado por la norma E 0.70, con ello se puede garantizar que la resistencia de la albañilería sea de buena calidad.

**Figura 20**

*Variación de la concavidad y convexidad en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20 se observa la variación del alabeo de los diferentes ladrillos que tienen incorporado lodo en porcentajes diferentes, donde se puede apreciar que todos los ladrillos con 0%, 10%, 20% y 40% se clasifican como Tipo IV por no sobrepasar el máximo valor para este tipo de ladrillo, mientras que el ladrillo con 5% se clasifica como Tipo V. Además, se puede ver un incremento en el alabeo tanto en la convexidad y concavidad a medida que se incrementa el porcentaje de lodo, donde el alabeo en la concavidad está en el rango de 2 mm – 4 mm que clasifica al ladrillo del tipo IV, y respecto a la convexidad se encuentra entre 0 mm – 2 mm que clasifica al ladrillo de tipo V.

### 3.6.1.3. Densidad

**Figura 21**

*Ensayo de determinación de densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Peso seco (gr.)	P1 Peso saturado sumergido (gr.)	P2 Peso 3h ebullición (gr.)	V P2-P1 (cm3)	$\rho$ Pseco/V (gr/cm3)
E-1	2,258.00	1,228.00	2,688.50	1,460.50	1.55
E-2	2,264.00	1,232.00	2,698.20	1,466.20	1.54
E-3	2,269.00	1,243.00	2,701.00	1,458.00	1.56
				Promedio	1.55

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	2,230.00	1,246.50	2,666.00	1,419.50	1.57
E-2	2,226.00	1,261.00	2,695.00	1,434.00	1.55
E-3	2,241.00	1,253.00	2,681.00	1,428.00	1.57
				Promedio	1.56

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	2,051.00	1,145.50	2,542.50	1,397.00	1.47
E-2	2,056.00	1,132.00	2,544.00	1,412.00	1.46
E-3	2,062.00	1,151.00	2,551.00	1,400.00	1.47
				Promedio	1.47

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	1,949.00	1,080.00	2,524.00	1,444.00	1.35
E-2	1,952.00	1,065.00	2,498.00	1,433.00	1.36
E-3	1,955.00	1,052.00	2,503.00	1,451.00	1.35
				Promedio	1.35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Peso seco (gr.)	P1 Peso saturado sumergido (gr.)	P2 Peso 3h ebullición (gr.)	V P2-P1 (cm3)	$\rho$ Pseco/V (gr/cm3)
E-1	1,642.00	886.00	2,198.00	1,312.00	1.25
E-2	1,644.00	872.00	2,182.00	1,310.00	1.25
E-3	1,638.00	868.00	2,176.00	1,308.00	1.25
				Promedio	1.25

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25**

*Resumen de la densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

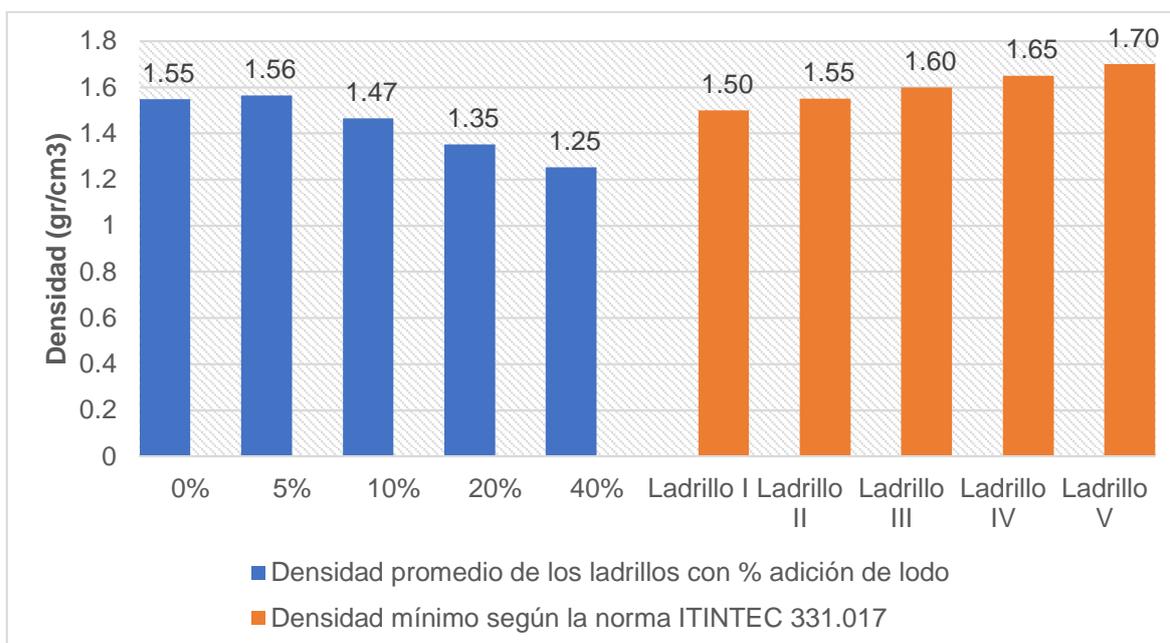
Muestra	% adición de lodo	Densidad promedio (gr/cm3)	Clasificación Según norma ITINTEC 331.017
M-01	0%	1.55	Ladrillo Tipo II
M-02	5%	1.56	Ladrillo Tipo II
M-03	10%	1.47	No clasifica
M-04	20%	1.35	No clasifica
M-05	40%	1.25	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

La densidad es una de las propiedades del ladrillo que relaciona la masa entre su volumen que este ocupa y que se relaciona directamente con la resistencia a la compresión, es decir cuanto mayor sea la densidad mayor será la resistencia a la compresión. De lo dicho anteriormente y según la Tabla 25 la densidad en el ladrillo patrón con 0% de adición de lodo es 1.55 gr/cm<sup>3</sup>. En relación a los ladrillos con adición de lodo, la muestra que presenta mayor valor de es la M-02 con 1.56 gr/cm<sup>3</sup> que tiene incorporado 5% de lodo y el menor valor es en la M-05 con 1.25 gr/cm<sup>3</sup> que tienen incorporado 40% de lodo.

**Figura 22**

*Variación de la densidad en los ladrillos con adición de lodo y la norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 22, se aprecia una tendencia al decremento en la densidad al incrementarse el porcentaje de lodo en su composición, es decir a mayor cantidad de adición de lodo disminuye la densidad del ladrillo. Además, se puede ver que la clasificación del ladrillo según la Norma ITINTEC 331.017 es; para la muestra M-01 con 1.55 gr/cm<sup>3</sup> y M-02 con 1.56 gr/cm<sup>3</sup> tienen una clasificación de ladrillo de Tipo II que tiene como mínimo valor de 1.55 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el resto no cumple con la clasificación ya que el más próximo para una clasificación es el ladrillo de Tipo I que tiene como mínimo valor de clasificación de 1.50 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.6.1.4. Absorción

**Figura 23**

*Ensayo de determinación de absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Ws Peso seco (gr)	Wa Peso saturado 24h (gr)	We 5h ebull.	Absorción %	Absorción Máxima %	Coef. Saturación %
E-1	2,258.0	2,728.0	2,826.0	20.81%	25.16%	0.83
E-2	2,264.0	2,734.0	2,831.0	20.76%	25.04%	0.83
E-3	2,269.0	2,741.0	2,843.0	20.80%	25.30%	0.82
			Promedio	20.79%	25.17%	0.83

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	2,230.0	2,691.0	2,791.0	20.67%	25.16%	0.82
E-2	2,226.0	2,696.0	2,788.0	21.11%	25.25%	0.84
E-3	2,241.0	2,689.0	2,784.0	19.99%	24.23%	0.83
			Promedio	20.59%	24.88%	0.83

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	2,051.0	2,517.0	2,598.0	22.72%	26.67%	0.85
E-2	2,056.0	2,523.0	2,601.0	22.71%	26.51%	0.86
E-3	2,062.0	2,530.0	2,599.0	22.70%	26.04%	0.87
			Promedio	22.71%	26.41%	0.86

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	1,949.0	2,455.0	2,508.0	25.96%	28.68%	0.91
E-2	1,952.0	2,458.0	2,511.0	25.92%	28.64%	0.91
E-3	1,955.0	2,461.0	2,512.0	25.88%	28.49%	0.91
			Promedio	25.92%	28.60%	0.91

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	1,642.0	2,195.0	2,215.0	33.68%	34.90%	0.97
E-2	1,644.0	2,198.0	2,209.0	33.70%	34.37%	0.98
E-3	1,638.0	2,191.0	2,201.0	33.76%	34.37%	0.98
			Promedio	33.71%	34.55%	0.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31**

*Resumen de la absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

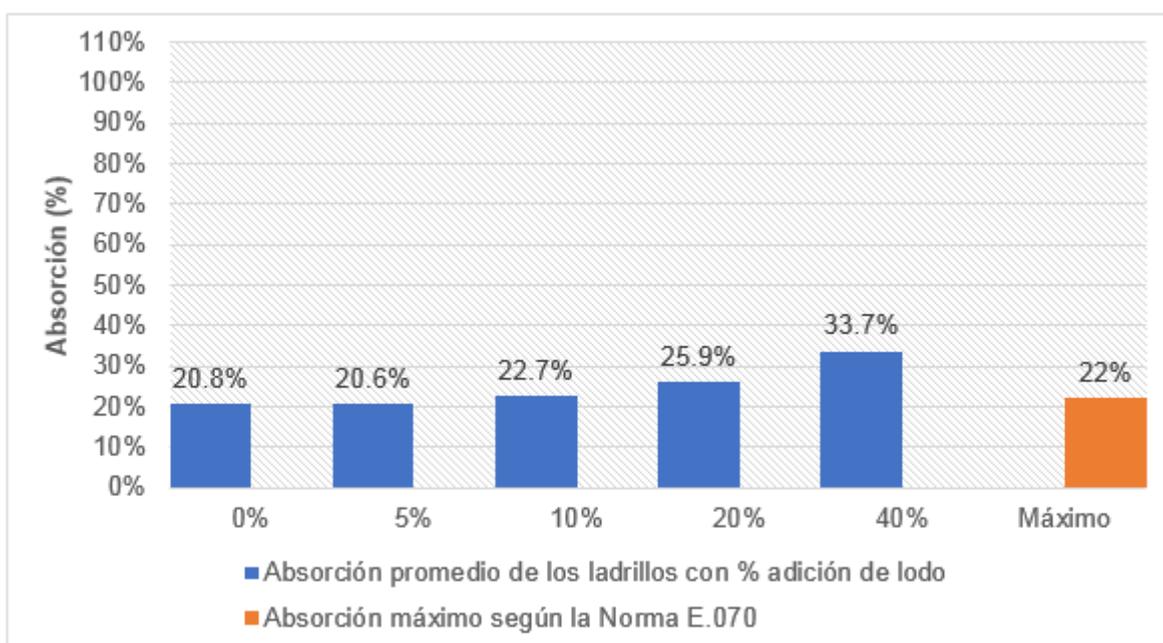
<b>Muestra</b>	<b>% adición de lodo</b>	<b>Absorción promedio %</b>	<b>Absorción máxima promedio %</b>	<b>Coefficiente de saturación</b>	<b>Clasificación Según norma</b>
M-01	0%	20.79	25.17	0.83	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	20.59	24.88	0.83	Ladrillo Tipo IV
M-03	10%	22.71	26.41	0.86	Ladrillo Tipo III
M-04	20%	25.92	28.60	0.91	Ladrillo Tipo I
M-05	40%	33.71	34.55	0.98	Ladrillo Tipo I

Fuente: Elaboración propia

La absorción es considerada como una medida de su impermeabilidad. Según la norma E.070 indica que el máximo valor de la absorción de los ladrillos de arcilla es de 22%. La norma ITINTEC 331.017 clasifica en 5 tipos de ladrillos según la absorción máxima y coeficiente de saturación. De la Tabla 31 se tiene que el valor máximo de absorción se presenta en la M-05 con 33.71% que corresponde a la mezcla con incorporación de lodo en 40% mientras que el valor más bajo se presenta en el ladrillo M-02 que es el ladrillo patrón con 5% de incorporación de lodo con 20.59%, seguido de la M-01 con 20.79% que tiene incorporado 0% de lodo. En la norma E.070 de albañilería recomienda que la absorción sea 22%, valor que se cumple solo en la M-01 y M-02. Sin embargo, se puede apreciar que los demás ladrillos superan ese valor considerablemente siendo el menor y mayor 22.71% y 33.71% las muestras con 10% y 40% respectivamente. Con los datos de la Tabla 31, se nota que los valores de absorción aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de lodo en los ladrillos.

**Figura 24**

*Variación de la absorción en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*

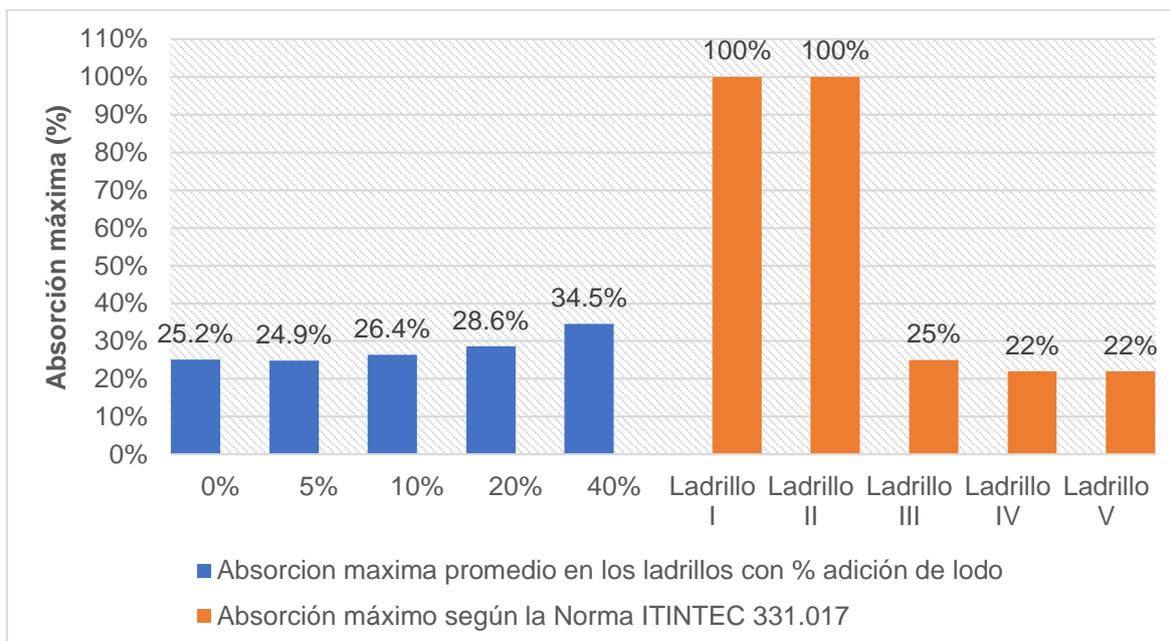


Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 24, se aprecia que las muestras M-01 y M-02 tienen valores de porcentaje de absorción de 20.79% y 20.59% respectivamente, valores menores al máximo valor que establece la E.070 que es de 22%, mientras las M-03, M-04 y M-05 con porcentajes de absorción de 22.7%, 25.92%, 33.71% respectivamente superan el 22% que el porcentaje máximo de absorción.

**Figura 25**

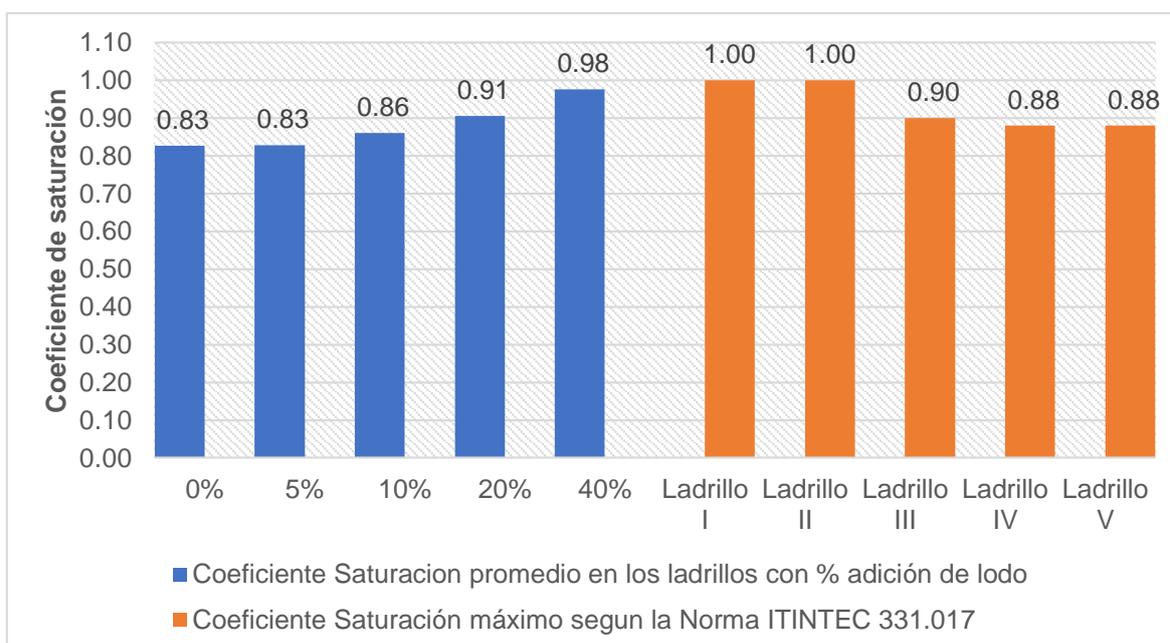
*Variación de la absorción máxima en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 26**

*Variación del coeficiente de saturación en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25, se muestra la absorción máxima que indica la Norma ITINTEC 331.07, donde la M-02 (5%) no supera el valor de 25% que clasifica como ladrillo III, mientras que la M-01 (0%), M-03 (10%), M-04 (20%) y M-05 (40%) superan el valor de absorción máximo del ladrillo Tipo III que es de 25% clasificándose, así como ladrillo Tipo I que establece como máximo valor el 100% en su absorción máxima.

Y finalmente respecto al coeficiente de saturación en la Figura 26 se aprecia que la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 0.83, 0.83 y 0.86 no superan el 0.88 que es el valor máximo para una clasificación de ladrillo IV, mientras que la M-04 (20%) y M-05 (40%) con 0.91 y 0.98 superan 0.90 del ladrillo Tipo III, clasificándose estos como ladrillo Tipo I, donde para ese tipo de ladrillo el máximo valor es de 1.

### 3.6.1.5. Succión

#### Figura 27

*Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso Mojado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> - min))
E-1	20.50	10.90	6.50	223.45	2,263.00	2,309.00	41.17
E-2	20.60	10.90	6.00	224.54	2,270.00	2,331.00	54.33
E-3	20.50	10.90	6.40	223.45	2,265.00	2,318.00	47.44
						Promedio	47.65
						Desv. Standar	6.58
						Prom. – desv.	41.07

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso saturado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> - min))
E-1	20.50	11.20	6.20	229.60	2,234.00	2,283.00	42.68
E-2	20.20	11.10	6.40	224.22	2,245.00	2,295.00	44.60
E-3	20.40	11.10	6.30	226.44	2,227.50	2,277.00	43.72
						Promedio	43.67
						Desv. Standar	0.96
						Prom-desv	42.71

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área neta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ps Peso seco (gr)</b>	<b>Pm Peso saturado (gr)</b>	<b>Succión (gr/(200cm<sup>2</sup>-min))</b>
E-1	20.40	11.00	6.70	224.40	2,132.00	2,195.00	56.15
E-2	20.20	11.10	6.50	224.22	2,053.00	2,137.00	74.93
E-3	20.20	11.00	6.20	222.20	2,138.00	2,189.50	46.35
						Promedio	59.14
						Desv. Standar	14.52
						Prom-desv	44.62

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área neta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ps Peso seco (gr)</b>	<b>Pm Peso saturado (gr)</b>	<b>Succión (gr/(200cm<sup>2</sup>-min))</b>
E-1	20.50	11.20	6.60	229.60	1,945.00	2,036.00	79.27
E-2	20.40	11.00	6.50	224.40	2,004.00	2,070.00	58.82
E-3	20.40	11.10	6.00	226.44	1,939.50	2,030.00	79.93
						Promedio	72.67
						Desv. Standar	12.00
						Prom-desv	60.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso saturado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))
E-1	20.10	10.90	6.50	219.09	1,627.00	1,774.00	134.19
E-2	19.80	10.70	6.00	211.86	1,689.00	1,805.00	109.51
E-3	20.00	10.60	6.40	212.00	1,622.50	1,768.50	137.74
						Promedio	127.14
						Desv. Standar	15.38
						Prom-desv	111.77

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37**

*Resumen de la succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

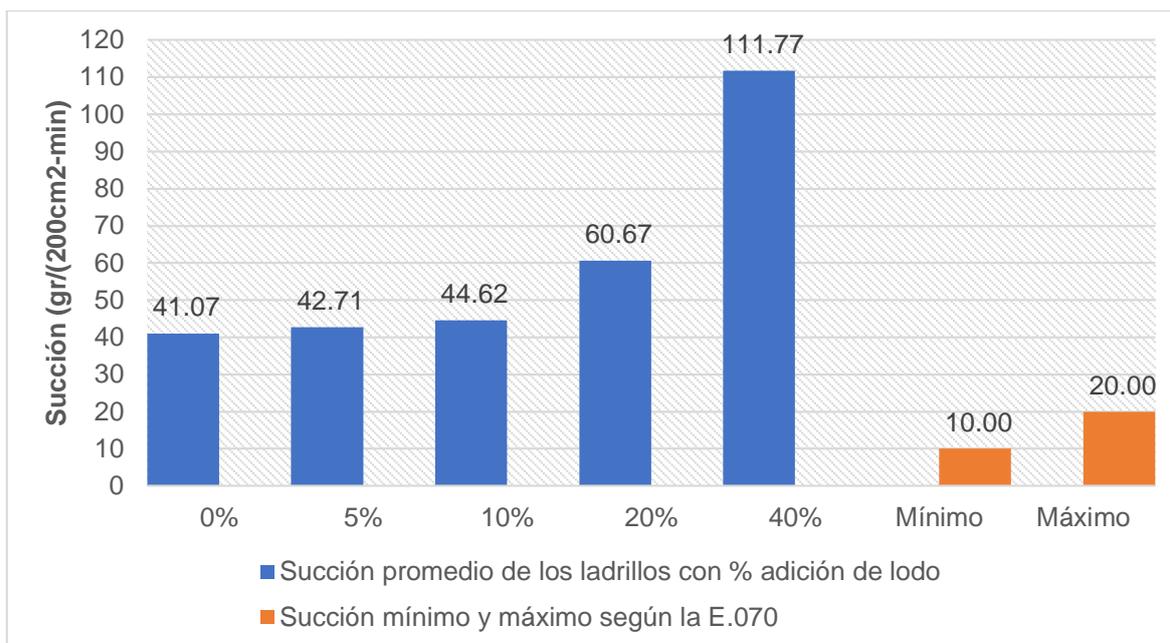
Muestra	% adición de lodo	Succión promedio (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	Norma E.070
M-01	0%	41.07	Recomienda que la succión al instante de asentarse esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm <sup>2</sup> -min.
M-02	5%	42.71	
M-03	10%	44.62	
M-04	20%	60.67	
M-05	40%	111.77	

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 37 se nota que ninguno de los ladrillos cumple con la Norma E 0.70, donde sugiere que la succión recomendada para los ladrillos está entre 10 a 20 gr/200 cm<sup>2</sup>-min, para reducir a estos valores existen técnicas como la de regar por un lapso de 30 min, entre 10 y 15 horas antes realizar los trabajos de asentado. Otro método más eficaz es saturar e inmediatamente realizar el asentado. En esta investigación todos los ladrillos sobrepasan el límite máximo de la succión, donde el valor más alto se presenta en la M-05 que tiene 40% de incorporación de lodo con 111.77 gr/200 cm<sup>2</sup>-min mientras que el valor más bajo se presenta para las muestras M-01, M-02 que tienen 41.07 y 42.71 gr/200 cm<sup>2</sup>-min respectivamente.

**Figura 28**

*Variación de la succión en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28, se puede observar que a mayor porcentaje de incorporación de lodo en la mezcla para la elaboración de ladrillos se tiene que la succión incrementa. El ladrillo con un valor alto de succión no logra una unión adecuada del mortero y el ladrillo, como consecuencia de la absorción rápida por parte del ladrillo al mortero, trayendo como consecuencia una adherencia insuficiente e incompleta con juntas débiles y permeables al agua. Según Bartolomé (2005), cuando se asientan ladrillos que tienen alta capacidad de succión al momento del asentado la resistencia se ve disminuida en 50% en relación a los ladrillos mojados un día antes de realizar el asentado. (p. 116).

## **OE2: Determinación de que si la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

### **b. Actividades a realizar**

- 1 Recolección de muestra de lodo en la PTAR – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 2 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó

- de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).
- 3 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
  - 4 El mezclado y amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
  - 5 Los ladrillos se elaboraron manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm. Para luego dejar a la exposición del sol y en la noche cubrir de las fuertes heladas, para que de esa manera tenga un secado uniforme, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
  - 6 Ya secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando 3 días dentro del horno para que enfríe (Ver anexo 5).
  - 7 Refrendado de las caras de los ladrillos donde actuará la carga con mortero de yeso y cemento (Ver anexo 5).
  - 8 Preparación de mortero de cemento arena C:A 1:4 (Ver anexo 3) para la elaboración de prismas de ladrillo con junta de no mayor de 1.5cm.
  - 9 Elaboración de prismas de ladrillos, apiladas uno encima de otro conformada por 4 ladrillos, los prismas se secaron durante 14 días en un ambiente seco donde se curaron con agua (Ver anexo 5).
  - 10 Determinación de las propiedades mecánicas del ladrillo mediante ensayos de laboratorio, siguiendo los protocolos citados en la presente investigación y recolectando los datos para su posterior análisis e interpretación (Ver anexo 3) para lo cual se utilizó equipos en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L tales como: Máquina para ensayos de concreto STYE-2000, Máquina de ensayos de CBR – MARSHALL MA-75.

### 3.6.1.6. Resistencia a la compresión axial

Figura 29

*Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.3	10.8	6.7	219.24	14,236.00	64.93	6.37
E-2	20.5	10.9	6.3	223.45	12,406.00	55.52	5.45
E-3	20.7	10.9	6.2	225.63	13,696.00	60.70	5.95
					Promedio	60.38	
					Desv. Standar	4.71	
					Prom-desv	55.67	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 39**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	20.20	10.90	6.20	220.18	12,333.0	56.01	5.49
E-2	20.10	10.90	6.40	219.09	12,053.0	55.01	5.40
E-3	20.20	11.00	6.30	222.20	13,832.0	62.25	6.11
					Promedio	57.76	
					desv. Standar	3.92	
					Prom-desv	53.84	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	19.9	10.7	6.7	212.93	13,605.0	63.89	6.27
E-2	20.2	10.8	6.5	218.16	12,437.0	57.01	5.59
E-3	20.2	10.8	6.2	218.16	12,539.0	57.48	5.64
					Promedio	59.46	
					Desv. Standar	3.85	
					Prom-desv	55.61	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 41**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.2	10.9	6.6	220.18	8,326.0	37.81	3.71
E-2	20.3	10.7	6.5	217.21	7,820.0	36.00	3.53
E-3	20.2	10.9	6	220.18	6,660.0	30.25	2.97
					Promedio	34.69	
					Desv. Standar	3.95	
					Prom-desv	30.74	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 42**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.10	10.10	6.50	203.01	2,860.0	14.09	1.38
E-2	19.90	10.50	6.00	208.95	3,983.0	19.06	1.87
E-3	19.80	10.50	6.40	207.90	3,810.0	18.33	1.80
					Promedio	17.16	
					Desv. Standar	2.68	
					Prom-desv	14.47	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43**

*Resumen de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

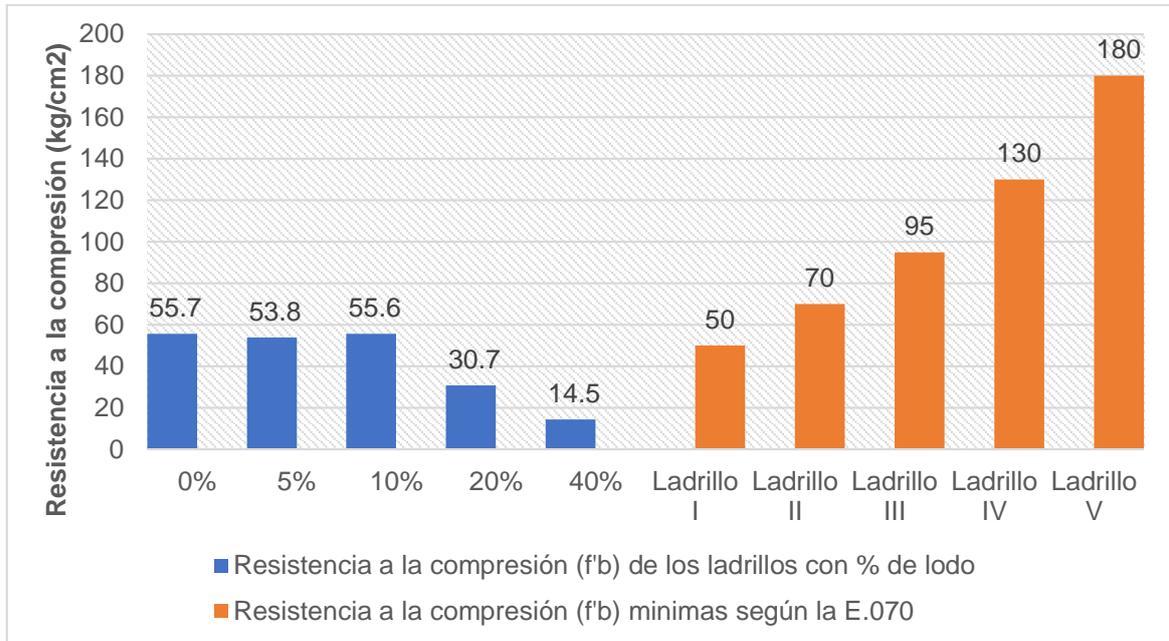
<b>Muestra</b>	<b>% Adición Lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (Mpa)</b>	<b>Clasificación según la norma</b>
E-01	0%	55.67	5.46	Ladrillo Tipo I
E-02	5%	53.84	5.28	Ladrillo Tipo I
E-03	10%	55.61	5.46	Ladrillo Tipo I
E-04	20%	30.74	3.02	No clasifica
E-05	40%	14.47	1.42	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 43, la resistencia a la compresión axial, solo tres de los especímenes pasan el mínimo valor exigido en la norma E.070 para una clasificación de ladrillo de Tipo I, que corresponden a los especímenes E-01, E-02 y E-03 que tienen incorporado lodo en 0%, 5%, 10% con valores de 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, 53.84 kg/cm<sup>2</sup>, 55.61 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, clasificando así a los tres especímenes como ladrillos de tipo I donde las resistencias mínimas que exige la E.070 es de 50 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que la M-04 y M-05 no alcanzan el valor mínimo para una clasificación de ladrillo Tipo I – artesanal por lo tanto no tienen clasificación según la Norma E.070. Además, se puede notar que la resistencia a la compresión axial disminuye cuando la incorporación de lodo sobrepasa el 10%.

**Figura 30**

*Variación de la resistencia a la compresión  $f'b$  en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 30 se puede apreciar una tendencia a la baja cuando el porcentaje de adición de lodo se incrementa, específicamente cuando se supera el 10% de incorporación de lodo a la mezcla la resistencia a la compresión axial disminuye. Según la Norma E.070 y la Figura 30, con mejor comportamiento en la resistencia a la compresión del ladrillo con adición de lodo es el E-02 y E-03 que corresponde a una adición de 5% y 10% de lodo donde se tiene una resistencia a la compresión de 53.8 kg/cm<sup>2</sup> y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, donde superan el valor mínimo para una clasificación de ladrillo de Tipo I (50 kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.6.1.7. Resistencia a la compresión uniaxial

#### Figura 31

*Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	Área BxL (cm <sup>2</sup> )	Carga rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.4	20.8	35.5	237.12	6,892.50	3.11	0.915	29.07	26.58	1.10	29.24	2.87
E-2	11.4	20.9	34.2	238.26	6,592.50	3.00	0.910	27.67	25.18	1.10	27.70	2.72
E-3	11.3	20.8	35.1	235.04	7,936.50	3.11	0.914	33.77	30.87	1.10	33.96	3.33
									Promedio		30.30	2.97
									Desv. Standar		3.26	0.32
									Prom-desv		27.04	2.65

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.5	20.5	35.0	235.75	7,495.50	3.04	0.912	31.79	28.99	1.10	31.89	3.13
E-2	11.4	22.8	35.0	259.92	7,425.00	3.07	0.913	28.57	26.08	1.10	28.68	2.81
E-3	11.5	20.9	34.9	240.35	8,488.50	3.03	0.911	35.32	32.19	1.10	35.41	3.47
									Promedio		31.99	3.14
									Desv. Standar		3.36	0.33
									Prom-desv		28.63	2.81

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.5	20.4	35.7	234.60	7,455.00	3.10	0.914	31.78	29.05	1.10	31.96	3.13
E-2	11.1	20.3	35.8	225.33	8,163.00	3.23	0.919	36.23	33.29	1.10	36.62	3.59
E-3	11.3	20.5	35.7	231.65	7,171.50	3.16	0.916	30.96	28.37	1.10	31.21	3.06
									Promedio		33.26	3.26
									Desv. Standar		2.93	0.29
									Prom-desv		30.33	2.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 47***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.1	20.6	35.0	228.66	4,005.00	3.15	0.916	17.52	16.05	1.10	17.65	1.73
E-2	11.4	20.6	34.7	234.84	4,659.00	3.04	0.912	19.84	18.09	1.10	19.90	1.95
E-3	11.0	20.5	35.0	225.50	4,038.00	3.18	0.917	17.91	16.43	1.10	18.07	1.77
									Promedio		18.54	1.82
									Desv. Standar		1.19	0.12
									Prom-desv		17.34	1.70

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 48***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Esp.</b>	<b>B (cm)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>esbelt.</b>	<b>factor de correc.</b>	<b>Resist. Compr. fm</b>	<b>fm corregida (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>coef. I</b>	<b>Resist. Caract. f'm (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Caract. f'm (Mpa)</b>
E-1	11.0	20.1	35.3	221.10	2,100.00	3.21	0.918	9.50	8.72	1.10	9.59	0.94
E-2	10.9	20.1	34.7	219.09	1,936.50	3.18	0.917	8.84	8.11	1.10	8.92	0.87
E-3	11.1	20.1	35.1	223.11	2,043.00	3.16	0.916	9.16	8.39	1.10	9.23	0.91
									Promedio		9.25	0.91
									Desv. Standar		0.34	0.03
									Prom-desv		8.91	0.87

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 49**

*Resumen de la resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

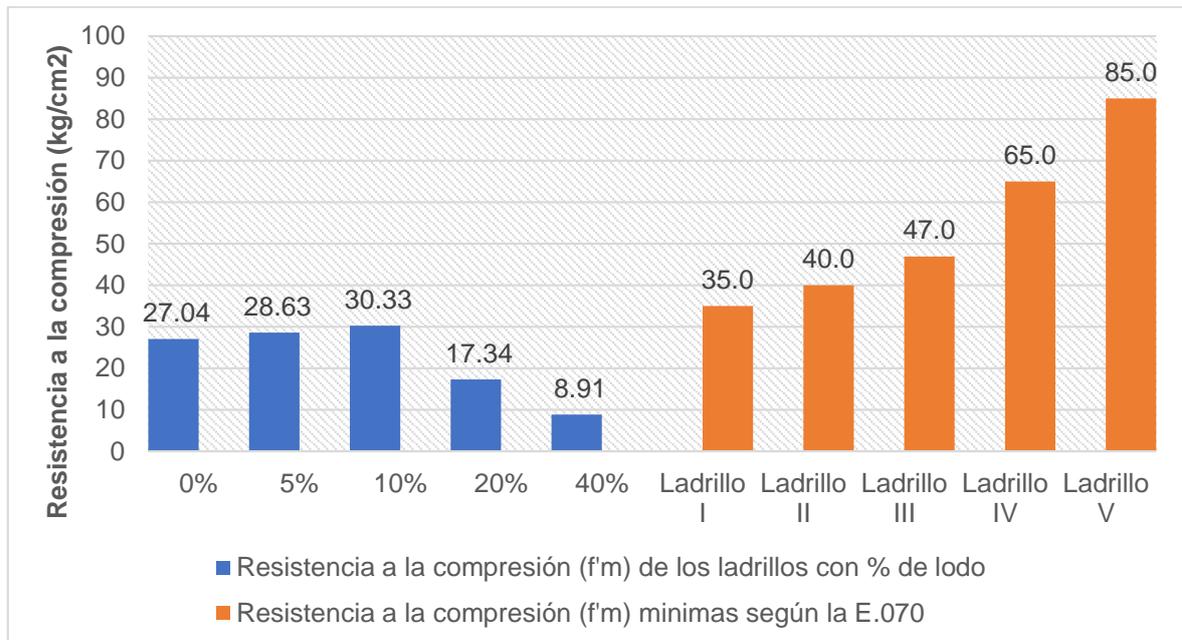
<b>Muestra</b>	<b>% Adición Lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (Mpa)</b>	<b>Clasificación según la normal</b>
M-01	0%	27.04	2.65	No clasifica
M-02	5%	28.63	2.81	No clasifica
M-03	10%	30.33	2.98	No clasifica
M-04	20%	17.34	1.70	No clasifica
M-05	40%	8.91	0.87	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 donde se muestra el resumen de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial (pilas) de los ladrillos con 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de adición de lodo, notando que las resistencias a la compresión que tienen cada uno de ellos no alcanzan a 35 kg/cm<sup>2</sup> que es el mínimo valor exigido por la E.070 para ladrillos artesanales de Tipo I, mencionando además que el ladrillo patrón que tiene 0% de adición de lodo alcanza 27.04 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, referente a los ladrillos con adición de lodo que mejor comportamiento tienen son los ladrillos con adición de 5% y 10% con resistencias a la compresión de 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Y el ladrillo con adición de 40% de lodo tiene el valor más bajo con 8.91 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 32**

*Variación de la resistencia a la compresión en pilas f'm en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

Además del Figura 32, se aprecia que mejor comportamiento tiene de todas las muestras es la pila conformada por ladrillos con adición de lodo de 0%, 5% y 10% pero no alcanzando al valor de 35 kg/cm<sup>2</sup> para una clasificación de ladrillo de Tipo I, Además se aprecia que al adicionar lodo en 5% y 10% se tiene un incremento en 5.88% y 12.17% respecto a la pila conformada por ladrillo con 0% de lodo respectivamente. Es así que se puede establecer que cuando se incrementa el lodo en más del 10% los valores en la resistencia a la compresión uniaxial disminuye de una manera desproporcionada como se puede ver la Figura 32.

### 3.6.1.8. Resistencia a la tracción

**Figura 33**

*Ensayo de determinación de la resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 50**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Carga de rotura (kg-f)	Distancia entre apoyos (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	f'tb (kg/cm <sup>2</sup> )
E-1	163.00	18.00	10.80	6.70	9.08
E-2	192.00	18.00	10.90	6.30	11.98
E-3	157.00	18.00	10.90	6.20	10.12
				Promedio	10.39
				Desv. Standar	1.47
				Prom-desv	8.92

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 51**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	259.00	18.00	10.90	6.20	16.69
E-2	202.00	18.00	10.90	6.40	12.22
E-3	229.00	18.00	11.00	6.30	14.16
				Promedio	14.36
				Desv. Standar	2.24
				Prom-desv	12.11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 52**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	208.00	18	10.7	6.70	11.69
E-2	168.00	18	10.8	6.50	9.94
E-3	141.00	18	10.8	6.20	9.17
				Promedio	10.27
				Desv. Standar	1.29
				Prom-desv	8.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 53**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	90.00	18	10.9	6.60	5.12
E-2	132.00	18	10.7	6.50	7.88
E-3	110.00	18	10.9	6.00	7.57
				Promedio	6.86
				Desv. Standar	1.51
				Prom-desv	5.34

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 54**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	40.00	18	10.6	6.50	2.41
E-2	49.00	18	10.5	6.00	3.50
E-3	61.00	18	10.5	6.40	3.83
				Promedio	3.25
				Desv. Standar	0.74
				Prom-desv	2.50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 55**

*Resumen de resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

<b>Muestra</b>	<b>% Adición lodo</b>	<b>Resistencia a la tracción <math>f'_{tb}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% que alcanza la tracción sobre la compresión</b>
M-01	0%	8.92	27.04	32.99%
M-02	5%	12.11	28.63	42.30%
M-03	10%	8.98	30.33	29.61%
M-04	20%	5.34	17.34	30.80%
M-05	40%	2.50	8.91	28.06%

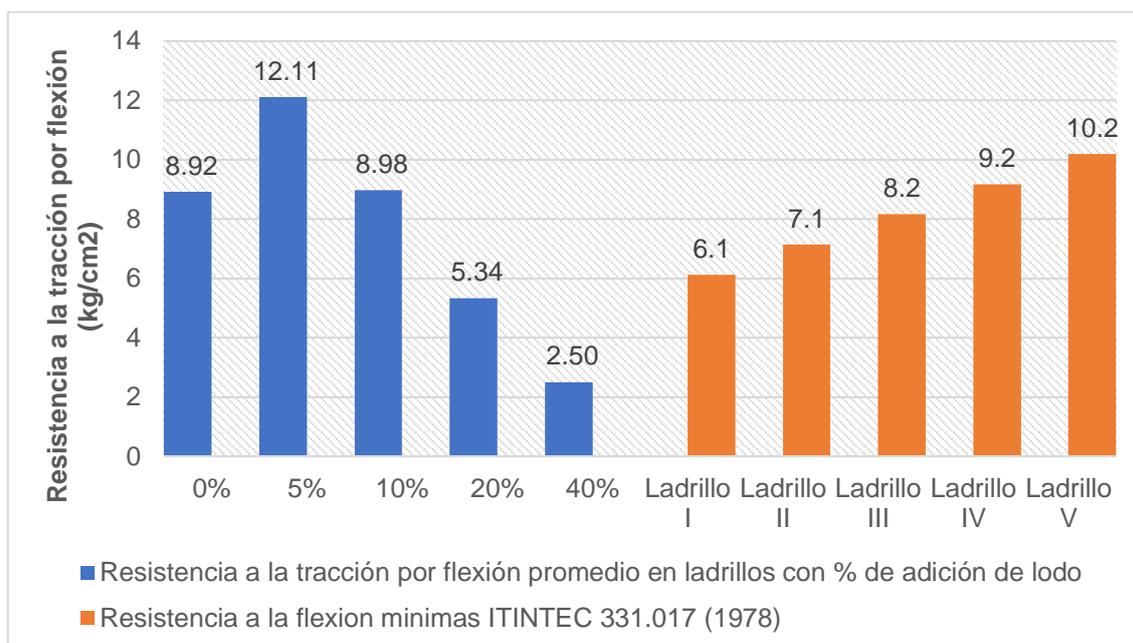
Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la tracción es un ensayo dispensable para la clasificación del ladrillo, sin embargo, se recomienda realizar estos ensayos cuando se trate de ladrillos de Tipo IV y V. Generalmente se conoce que la propiedad característica principal del ladrillo en su resistencia a la compresión, es decir cuando se aplica la fuerza a la pila este tiende a rajarse verticalmente debido a la tracción lateral que ocasiona el mortero de fluir a los laterales y de esa manera poder escapar de entre ellos mismos, a lo dicho, al incrementar la resistencia a la tracción de alguna manera se incrementa la resistencia a la compresión de la albañilería.

Según la Tabla 55 que mejor comportamiento tienen son los ladrillos que tienen incorporado lodo en 0%, 5% y 10% con 8.92 kg/cm<sup>2</sup>, 12.11 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente superando 8.2 kg/cm<sup>2</sup> que exige el ladrillo Tipo III según la clasificación de la norma ITINTEC 331.017 (1978). Consecuentemente con lo dicho en el párrafo anterior según la norma ITINTEC 331.017 la resistencia a la tracción debe ser proporcional a la resistencia a la compresión, es decir a mayor resistencia a la compresión mayor será la resistencia a la tracción, por consiguiente, se obtuvo que la mejor resistencia a la compresión en pilas que mejor comportamiento tuvieron fueron las dosificaciones de 0%, 5% y 10% con 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia a la tracción fueron para 0%, 5% y 10% de 8.92 kg/cm<sup>2</sup>, 12.11 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**Figura 34**

*Variación de la resistencia a la tracción por flexión  $f'_{tb}$  en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 34, el máximo valor se obtuvo con la incorporación de lodo en un 5% llegando a 12.11 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos con adición de lodo en 0% y 10% tienen valores casi iguales 8.92 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por lo que se puede establecer, que cuando se incrementa el porcentaje de lodo en porcentajes mayores al 10% la resistencia a la tracción disminuye considerablemente, no alcanzado el valor mínimo para clasificar como ladrillo de Tipo I que es de 6.1 kg/cm<sup>2</sup>.

**OE3: Definir, que si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno**

**c. Actividades a realizar**

- 8 Recolección de muestra de lodo en la planta de tratamiento de aguas residuales – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 9 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).

- 10 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
- 11 El amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
- 12 La elaboración de ladrillos sólidos fue fabricada manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
- 13 Una vez secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando dentro del horno para que enfríe durante 3 días (Ver anexo 5).
- 14 El análisis de las características se realizó a muestras de ladrillo al azar.

### 3.6.1.9. Peso

**Tabla 56**

*Peso promedio de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Peso promedio (gr.)</b>	<b>Densidad Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	2,263.7	1,587.75	Se acepta
M-02	5%	2,232.3	1,607.06	Se acepta
M-03	10%	2,056.3	1,469.39	Se rechaza
M-04	20%	1,952.0	1,398.74	Se rechaza
M-05	40%	1,641.3	1,260.77	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

Según Gallegos & Casabonne (2005) la densidad está en función de su materia prima y calidad de fabricación y este debe estar en el intervalo de 1,400-1,700 kg/m<sup>3</sup> para ladrillo 1 y 1,600-1,900 kg/m<sup>3</sup> para ladrillo 2, según la Tabla 56 solo cumplen las muestras M-01, M-02 y M-03. Por lo que se acepta en la calidad. Se puede ver en la Tabla 56 que medida que se incrementa en la incorporación de lodo el peso disminuye haciendo que disminuya la calidad del ladrillo.

### 3.6.1.10. Color

**Figura 35**

*Color del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 57**

*Color de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Color</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	Naranja oscuro	Se acepta
M-02	5%	Naranja oscuro	Se acepta
M-03	10%	Naranja claro	Se rechaza
M-04	20%	Naranja claro	Se rechaza
M-05	40%	Naranja más claro	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

Según la Norma E.070 los ladrillos sometidos a cocción deben tener un color uniforme de color rojo a amarillo, como se puede apreciar en la Figura 35 el que tiene una tonalidad cercana al color rojo es de la mezcla de 0% y 5% mientras que la mezcla de 40% tiene una tonalidad de color naranja más claro.

### 3.6.1.11. Textura

**Tabla 58**

*Textura de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Textura</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	No presenta fisura	Se acepta
M-02	5%	No presenta fisura	Se acepta
M-03	10%	No presenta fisura	Se acepta
M-04	20%	No presenta fisura	Se rechaza
M-05	40%	Presenta fisura	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

En el Figura 35, se aprecia que la textura es fina a rugoso e uniforme en las muestras M-01 y M-02 notándose en las aristas están bien perfilados y no presentan fisuras en ninguna de las caras, mientras que en las muestras M-03, M-04 y M-05 presentan una textura rugosa a la vez las aristas no tienen un buen acabado, específicamente en la muestra M-05 (40%) tiene presencia de fisura en la cara del asentado, este problema viene desde el moldeado del ladrillo y en el secado.

### 3.6.1.12. Dureza

**Figura 36**

*Dureza del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 59**

*Dureza de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

Muestra	Adición de lodo %	Dureza	Calidad
M-01	0%	Sin impresión	Se acepta
M-02	5%	Sin impresión	Se acepta
M-03	10%	Sin impresión	Se acepta
M-04	20%	Con impresión	Se rechaza
M-05	40%	Con impresión	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 36, se puede notar la impresión que deja la uña al pasar por una de las caras del ladrillo, teniendo esta impresión más pronunciada en las muestras M-04 y M-05, debido que estos ladrillos presentan gran porcentaje vacíos (esponjoso).

### 3.6.1.13. Solidez

**Tabla 60**

*Solidez de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Solidez</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	Sonido metálico	Se acepta
M-02	5%	Sonido metálico	Se acepta
M-03	10%	Sonido metálico	Se acepta
M-04	20%	Sin sonido metálico	Se rechaza
M-05	40%	Sin sonido metálico	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 60, se muestra los resultados de la aplicación de un golpe con un martillo en el ladrillo donde las muestras M-01, M-02 y M-03 tuvieron un sonido metálico mientras que los ladrillos M-04 y M-05 tienen un sonido grave (no presentan sonido metálico).

#### **OG: Análisis de que si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

De los resultados obtenidos para los objetivos específicos se puede notar que la incorporación de lodo en diferentes porcentajes en la elaboración de ladrillos artesanales sólidos influye en la resistencia a la compresión del ladrillo, es decir la incorporación de lodo en porcentajes menores al 10% tiene mejores resultados, mientras que cuando se excede el 10% hay una disminución considerable.

Para esta parte del desarrollo que es la prueba de hipótesis, se aplicó el diseño completamente aleatorio DCA, el cual nos ayuda a determinar si hay una diferencia o no entre las mezclas empleadas en la fabricación de ladrillos. Con los resultados obtenidos se pudo notar que existe una gran dispersión en la resistencia a la compresión axial por la adición de lodo en porcentajes diferentes, sin embargo, para tener esa certeza si la variación es estadísticamente significativa se plantea la prueba de hipótesis.

Ho:  $\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H1:  $\mu_0 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

**Tabla 61**

*Análisis de Varianza para los datos de la variación de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Muestra	4	4457.841	1114.46	74.137	0.00000021636
Error experimental	10	150.325	15.033		
Total	14	4608.166			

Fuente: Elaboración propia

El cociente F ha resultado en el presente estudio de 74.137 que, en una F con 4 y 10 grados de libertad, deja a su derecha una cola de probabilidad 0.00000021636.

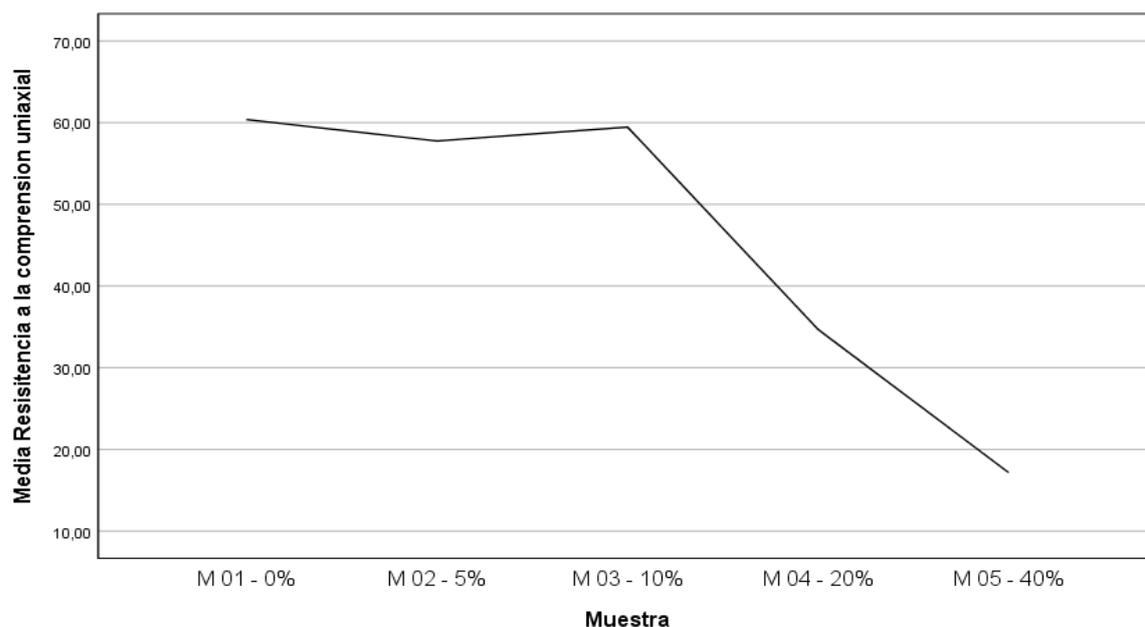
Resulta por tanto un contraste significativo a niveles de significación del 5% y se rechaza la hipótesis nula en los niveles medios de la resistencia a la compresión axial con las 15 muestras estudiadas.

Como  $F_{cal} = 74.137 > F_{tab} = 3.478$ , en este caso se podría concluir que al menos uno o más muestras en estudio ha producido resultados a la media de los cuales se diferencia del resto de las muestras de forma estadísticamente significativa

En la Tabla 61, la probabilidad que aparece indica aquel valor de a partir del análisis de varianza detectaría diferencia significativa. Así pues, a menor valor de probabilidad, mayor seguridad de que existen diferencias significativas. La conclusión es que el factor muestra (acción de lodo en porcentajes diferentes) influye en la resistencia a la compresión axial, es decir, los distintos niveles del factor de muestra se comportan de diferente forma en la resistencia a la compresión se refiere.

**Figura 37**

*Gráfico de las medias*



Fuente: Elaboración propia

La Figura 37 de medias sugiere un fuerte decrecimiento de la resistencia a la compresión axial al pasar de 60.38 Kg/cm<sup>2</sup>. a 17.16 Kg/cm<sup>2</sup>. Los valores medios inferiores en la resistencia a la compresión axial llevan a un efecto contrario, mostrando en el gráfico un suave descenso; es decir existen diferencias significativas.

### **Prueba de comparaciones múltiples**

El ANOVA nos indica cuántas muestras difieren estadísticamente y cuáles son. Sin embargo, con una inspección visual se puede tener una pista que muestras son, pero si se quiere abordar con criterios más sólidos existen pruebas estadísticas que ayudan a identificar de qué muestra se trata.

**Tabla 62**

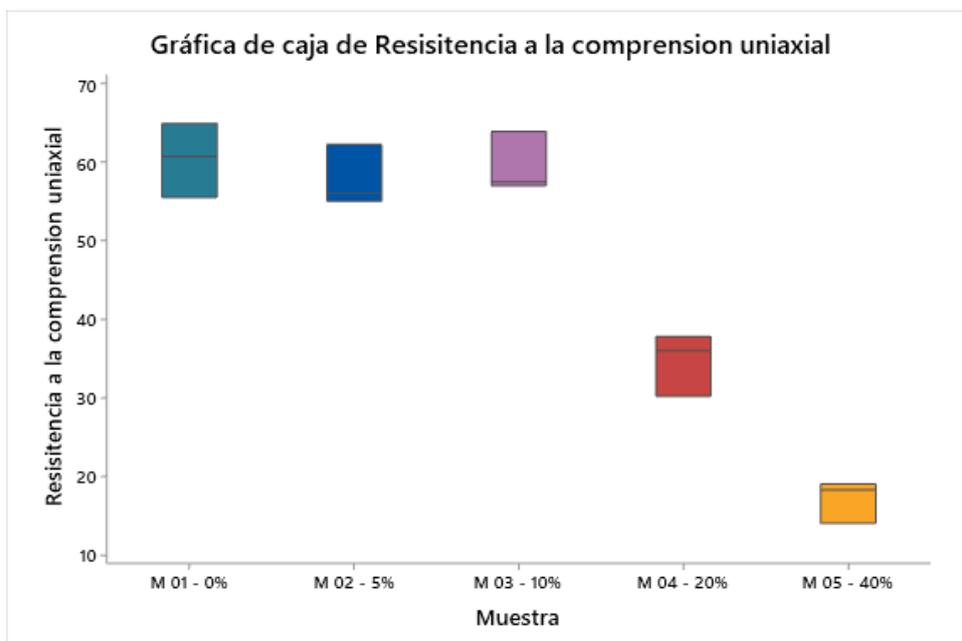
*Agrupación de muestras utilizando el método de Duncan y una confianza de 95%*

Muestra	N	Media	Agrupación
M 01 - 0%	3	60.38	A
M 03 - 10%	3	59.46	A
M 02 - 5%	3	57.76	A
M 04 - 20%	3	34.69	B
M 05 - 40%	3	17.16	C

Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

*Gráfico de caja de resistencia a la compresión axial*



Fuente: Elaboración propia

El que las muestras tengan la misma letra implica que no hay diferencias significativas entre ellas por lo que es factible unir mediante una línea, donde las muestras son acomodadas en forma descendente teniendo en consideración a los promedios de las resistencias a la compresión axial.

### **3.7. Aspectos éticos**

Siguiendo los lineamientos al código de ética en investigación de la Universidad César Vallejo aprobado con RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO No 0126-2017/UCV, En esta investigación se ha respetado la identidad, información obtenida y los resultados obtenidos en las publicaciones de propiedad intelectual de los autores, que han sido objeto de referencia.

Los criterios éticos aplicados en esta investigación son la confidencialidad, objetividad y originalidad, evitando cometer las faltas éticas citadas en el código de ética de la Universidad César Vallejo como son: exceso de citas textuales, plagio total o parcial, fraude de resultados, adulteración de documentos, obtención de lucro personal, etc.

#### IV. RESULTADOS

##### Resultados al OG:

De los resultados obtenidos de la prueba estadística con un nivel de significancia de 0.05 el promedio de la resistencia a la compresión axial tiene diferencias estadísticas sobre las demás muestras, y se diferencian significativamente de las otras muestras, por lo tanto, las muestras M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) son las que más aportan al presente trabajo de investigación. Por otro lado, la M-04 (20%) aporta moderadamente al estudio, de la misma manera la muestra que menos aporta al presente estudio es la M-05 (40%), tal como se muestra en la Tabla 62 de diferencia de medias y el diagrama de cajas (Figura 38).

##### Resultados al OE1:

**Tabla 63**

*Resumen de las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

Muest.	% de lodo	Varia. Dimen. Prom. %	Alabeo Prom.	Densid. Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	Absor. Prom. %	Coef. de satur.	Succión (gr/200cm <sup>2</sup> /min)
M-01	0%	1.4	1.47	1.55	20.79	0.83	41.07
M-02	5%	3.2	1.46	1.56	20.59	0.83	42.71
M-03	10%	2.1	1.75	1.47	22.71	0.86	44.62
M-04	20%	1.8	1.84	1.35	25.92	0.91	60.67
M-05	40%	3.8	1.94	1.25	33.71	0.98	111.77

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 64 se muestra el resumen de las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10%, 20% y 40%) y comparando con la Norma E.070 y la Norma ITINTEC 331.17, considerando la máxima variación dimensional, el mejor comportamiento tienen la M-01 (0%) como Tipo IV y M-02 (5%), M-03 (10%) clasificándose ladrillo Tipo II, por el alabeo como ladrillo Tipo V para M-02 (5%), ladrillo Tipo IV para M-01 (0%) y M-03 (10%) así para cualquier porcentaje de adición de lodo no hay una diferencia significativa en el alabeo, así mismo la densidad mínima según la norma ITINTEC es 1.55 gr/cm<sup>2</sup> para un ladrillo Tipo II y 1.60 gr/cm<sup>3</sup> para Tipo III, por lo que la M-01 (0%) y M-02 (5%) tienen clasificación de ladrillo Tipo II, y el resto de los ladrillo

cumplen con la densidad del ladrillo Tipo I, respecto a la absorción solo la M-01 y M-02 no superan el máximo valor que establece la norma E.070 que es de 22%. Y según la Norma ITINTEC 331.17 en la absorción máxima la M-02 (5%) se clasifica como ladrillo Tipo III y el resto como ladrillo Tipo I. De la misma manera la succión en todos los ladrillos no cumple con la Norma E.070 donde indica que la succión de los ladrillos de arcilla debe estar entre 10 y 20 (gr/(200cm<sup>2</sup>-min). finalmente, el coeficiente de saturación según la norma ITINTEC 331.17, indica que deben ser menores a 0.80 para que tengan mejor comportamiento (poco absorbentes), por esto la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) se clasifican como ladrillo de Tipo IV donde el valor máximo es 0.9 mientras que la M-04 (20%) y M-05 (40%) tienen clasificación de ladrillo Tipo I donde el coeficiente de saturación máximo es 1.

**Tabla 64**

*Resumen de clasificación del tipo de ladrillos con adición de lodo según las normas indicadas*

PROPIEDADES	SEGÚN NORMA E.070 DEL RNE					SEGÚN NORMA ITINTEC 331.07				
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05
Variación dimensional	ladrillo IV	ladrillo II	ladrillo II	ladrillo II	No clasifica	ladrillo IV	ladrillo II	ladrillo II	ladrillo II	No clasifica
Alabeo	ladrillo IV	ladrillo V	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo V	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV
Absorción	Unidades de arcilla máximo 22%					-	-	-	-	-
	20.79%	20.59%	22.71%	25.92%	33.71%	-	-	-	-	-
Absorción Máxima	-	-	-	-	-	ladrillo I	ladrillo III	ladrillo I	ladrillo I	ladrillo I
Coefficiente de saturación	-	-	-	-	-	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo I	ladrillo I
Densidad	-	-	-	-	-	ladrillo II	Ladrillo II	No clasifica	No clasifica	No clasifica
	mínimo 10 - máximo 20 gr/(200cm2xmin)					mínimo 10 - máximo 20 gr/(200cm2xmin)				
Succión	41.07 no cumple	42.71 no cumple	44.62 no cumple	60.67 no cumple	111.77 no cumple	41.07 no cumple	42.71 no cumple	44.62 no cumple	60.67 no cumple	111.77 no cumple
Resistencia a la compresión	ladrillo I	ladrillo I	ladrillo I	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica
<b>TIPO DE LADRILLO</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>

Fuente: Elaboración propia

## Resultado al OE2:

**Tabla 65**

*Resumen de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

<b>Muestra</b>	<b>% Adición de lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción <math>f'_{tb}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M-01	0%	55.67	27.04	8.92
M-02	5%	53.84	28.63	12.11
M-03	10%	55.61	30.33	8.98
M-04	20%	30.74	17.34	5.34
M-05	40%	14.47	8.91	2.50

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 65 se muestra el resumen de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10%, 20% y 40%) y previa comparación con la Norma E0.070 (albañilería) y la Norma ITINTEC 331.17 Tabla 4 y Tabla 1 respectivamente. Que el mayor valor de resistencia a la compresión axial se presenta en la M-01 con 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, donde tiene 0% de lodo, mientras que en los ladrillos con adición de lodo los valores más altos se presentan en M-02 y M-03 con 53.84 y 55.61 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, cumpliendo con la resistencia a la compresión mínima que exige la E0.70 que es de 50 kg/cm<sup>2</sup> y clasificándose como ladrillo Tipo I y por otra parte se tienen el valor más bajo muestra M-05 donde se adiciono lodo en 40% con 14.47 kg/cm<sup>2</sup>. En relación a la resistencia a la compresión uniaxial (prismas) ninguno de los ladrillos alcanzó el mínimo valor que establece la Norma E.070 que es de 35.00 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 4), siendo los valores más próximos de 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup>, 30.33 kg/cm<sup>2</sup>, para M-01(0%), M-02(5%) y M-03(10%) respectivamente, mientras que el valor más bajo es en M-05(40%) donde el valor es de 8.91kg/cm<sup>2</sup>. Y por último en la resistencia a la tracción por flexión el valor más alto se presenta en la muestra M-02(5%) con 12.11 kg/cm<sup>2</sup> superando al ladrillo que tiene 0% de lodo, de esa manera cumplen con la norma ITINTEC solo el M-01(0%), M-02(5%) y M-03(10%), con 8.92, 12.11 y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, donde el resto de los ladrillos no alcanzan el mínimo establecido que es de 6.1 kg/cm<sup>2</sup> para un ladrillo tipo I.

### Resultados al OE3:

**Tabla 66**

*Resumen de las características de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Mues tra</b>	<b>% Adición de lodo</b>	<b>Peso Prom. (gr.)</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Solidez</b>	<b>Dureza</b>
M-01	0%	2,263.7	Naranja oscuro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-02	5%	2,232.3	Naranja oscuro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-03	10%	2,056.3	Naranja claro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-04	20%	1,952.0	Naranja claro	Presenta fisura	Sin sonido metálico	Con impresión
M-05	40%	1,641.3	Naranja más claro	Presenta fisura	Sin sonido metálico	Con impresión

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 66, según las características de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales, las muestras que tienen buenas características son las muestras M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) por lo que se puede aceptar como elemento de construcción en viviendas que prestan bajo nivel de servicio como lo indica la E.070.

## V. DISCUSIÓN

### Discusión al OG:

En la presente investigación se determinó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales sólidas, donde la adición óptima de lodo en la mezcla es de 5% y 10% donde se obtuvieron valores que cumplen con lo indicado por la Norma E.070, mientras que la adición de lodo en porcentajes mayores al 10% presentan una disminución en las propiedades estructurales. Al respecto **Zapata** (2020) citado como antecedente nacional, llega a la conclusión que el porcentaje óptimo de adición de lodo al ladrillo macizo artesanal es del 20% de lodo orgánico, alcanzando una resistencia a la compresión de 60.42 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, **Camargo & Yambay** (2020) citado como antecedente internacional llega a la conclusión que los ladrillos que tienen incorporado lodo en 5% de lodo de planta de tratamiento de aguas residuales presentan mejores resultados en las resistencias mecánica que tiene un valor de 2.82 MPa (28.76 kg/cm<sup>2</sup>) incrementándose en un 23% al ladrillo artesanal patrón que tiene una resistencia a la compresión de 2.29 MPa (23.35 kg/cm<sup>2</sup>), concluyendo que el lodo residual es factible su utilización en la elaboración de ladrillo por ende en la rama de las edificaciones no estructurales. Al comparar los resultados se puede concluir en que la incorporación de lodo de aguas residuales en porcentajes menores o iguales a 10% (5% a 10%) mejoran de alguna manera las propiedades físico mecánicas en los ladrillos artesanales.

### Discusión al OE1:

En la presente investigación la incorporación de lodo de aguas residuales en los ladrillos artesanales sólidos mejoran en algunos de las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, tal es el caso en el ladrillo que tiene incorporado 5% de lodo de aguas residuales en su mezcla, mejorando en la densidad de la M-02 (5%) con 1.56 gr/cm<sup>2</sup>, la absorción en la M-02 (5%) con 20.59% y la absorción máxima de la M-02 (5%) con 24.88% en relación al ladrillo patrón M-01 (0%), mientras en la variación dimensional se tiene una variación mayor en su largo del ladrillo, respecto al alabeo no tienen variación significativa

a cualquier porcentaje de adición de lodo y finalmente la succión se incrementa a mayor porcentaje de lodo superando ampliamente el máximo recomendado de 20 gr/(200cm<sup>2</sup>-min) siendo el más menor de la M-01 (0%) con 41.07 gr/(200cm<sup>2</sup>-min). Al respecto **Huillcaya & Vidal** (2018) citado como antecedente nacional llegó a la conclusión que el porcentaje óptimo de adición de biosólido es de 10%, donde la variación dimensional se incrementa a mayor porcentaje de adición de biosólido en su largo, ancho y altura mientras que el alabeo es el mismo para cualquier porcentaje de adición de biosólido. La absorción es de 22% clasificándose como ladrillo Tipo III. Asimismo, **Fuentes et ál.** (2017) citado como antecedente internacional dice el porcentaje de adición óptima de biosólido es 5%, 10% y 15% con valores de absorción de 16.75%, 16.07%, 16.23% valores menores al máximo 17% según la NTC 4205, La absorción máxima para las mismas adiciones de lodo tienen un valor de 19.96%, 19.86% y 19.75% respectivamente siendo menores al máximo que es 20% según la NTC 4205. En la succión de todas las muestras el menor es para 0% y 5% con 94 gr/200cm<sup>2</sup>/min y 104.0 gr/200cm<sup>2</sup>/min superan el valor máximo es 50 g/200cm<sup>2</sup>/min según la NTC 4205. Por lo que se demuestra que la adición de lodo en porcentajes de 5% mejoran las propiedades físicas y la adición de lodo en 10% mantienen los mismos valores que el ladrillo patrón.

### **Discusión al OE2:**

En la presente investigación la incorporación lodo de aguas residuales mejora en algunas de las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, es decir con incorporación de lodo en porcentajes menores al 10% la resistencia mecánica mejora y/o mantiene las propiedades mecánicas respecto al ladrillo patrón. Tal es el caso de la resistencia a la compresión axial para incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% se tiene 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, 53.8 kg/cm<sup>2</sup> y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente donde las tres muestras superan el mínimo indicado por la E.070 (50.0 kg/cm<sup>2</sup>). En la resistencia a la compresión uniaxial (pilas) se mejoró con relación al ladrillo patrón M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, finalmente la resistencia a la tracción también se mejoró los valores en la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 8.92, 12.11 y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Estos resultados guardan relación con **Peralta** (2018) citado como antecedente internacional, donde la resistencia a la compresión más alta es 131.00 kg/cm<sup>2</sup> que tiene adición de lodo en 5% superando lo indicado por la NTE-INEN 297, para ladrillo Tipo C con 80 kg/cm<sup>2</sup> superando la resistencia mecánica del ladrillo patrón (0% de lodo) con 76.3 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos con 10% y 20% de lodo no cumplen con el valor mínimo establecido por la norma NTE-INEN 297 para ladrillo Tipo C (80 kg/cm<sup>2</sup>). Pero en lo que no se concuerda es con **Espillico** (2019) citado como antecedente nacional, donde concluyó a que el mejor resultado a la resistencia a la compresión de unidades de 12x10x5.5cm con una mezcla de clase textural franco arenosa y arcilla se obtiene adicionando lodo en 45% alcanzado una resistencia a la compresión 54.16 kg/cm<sup>2</sup> con clasificación de ladrillo Tipo I. Por lo que se demuestra que la adición de lodo en porcentajes menores al 10% mejoran de alguna manera las propiedades mecánicas en los ladrillos artesanales.

### **Discusión al OE3:**

En esta investigación la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, con incorporaciones de lodo en porcentajes de 5% y 10%, como es el peso del ladrillo de 20.19 x 10.8 x 6.4 cm. en la M-01 (0%) con 2,263.7 gr, M-02 (5%) con 2,232.3 gr, M-03 (10%) con 2,056.3 gr, M-04 (20%) con 1952.0 gr y M-05 (20%) con 1,641.3 gr donde el peso por unidad de volumen es 1.59; 1.61; 1.47; 1.40 y 1.26 gr/cm<sup>3</sup>. El color en las muestras M-01, M-02 y M-03 es de naranja oscuro mientras que el resto es de una tonalidad de naranja más claro. Las características de textura, solidez y dureza tienen una calificación de aceptable en las M-01, M-02 y M-03. Estos resultados se aproximan a lo concluido por **Peralta** (2018) como antecedente internacional, donde los ladrillos de medidas de 28 x 14 x 9 cm para dosificaciones de 0%, 5%, 10%, y 20% el peso por ladrillo es 4,167.19; 3,835.74; 3,376.34 y 2,976.09 gr. donde el peso por unidad de cm<sup>3</sup> es 4.75; 4.37; 3.85 y 3.39 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, donde a medida que se incrementa el porcentaje de lodo el peso del ladrillo disminuye. Todos los ladrillos presentan superficie más o menos rugosa, respecto al color adquieren un color anaranjado rojizo. Pero en lo que no se concuerda es con **Espillico**

(2019) citado como antecedente nacional, donde concluye que para un ladrillo de 12 cm x 10 cm x 5.5 cm cuando se incrementa el porcentaje de lodo el peso también se incrementa es decir para una dosificación de lodo en 30% y 60 % tiene un peso de 1,212 gr, para una dosificación de 23.79, 45 y 66.21% se tiene un peso 1,217 gr y finalmente para una adición en 45% se tiene 1,222 gr., siendo el peso por una unidad de cm<sup>3</sup> tiene 1.83; 1.84; 1.85 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente; Referente al color en todas las muestras se caracterizan por tener un color naranja oscuro. La textura de todas las muestras es rugosa. Hecho la comparación se concluye que la incorporación de lodo de aguas residuales en 5% y 10% mejoran las características del ladrillo artesanal.

## **VI. CONCLUSIONES**

### **Conclusiones al OG:**

En esta investigación se analizó si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, donde se concluye que las propiedades físicas mecánicas del ladrillo artesanal sólido mejoran según el porcentaje de incorporación de lodo de aguas residuales, teniendo mejores resultados con la incorporación de lodo en porcentajes menores a 10% de la mezcla utilizada en el proceso de elaboración de ladrillos donde los valores cumplen con la Norma E.070 y tienen una clasificación de ladrillo de Tipo I. Determinando así que la adición más óptima de lodo es del 5% a 10%, es decir con valores mayores al 10% de adición de lodo los valores en las propiedades físico mecánicas disminuyen y no cumplen con lo indicado por la Norma E0.70 e ITINTEC 313.07.

### **Conclusiones al OE1:**

En esta tesis se determinó si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, donde se concluye que las propiedades físicas (variación dimensional, alabeo) del ladrillo artesanal sólido mantienen valores similares al ladrillo patrón para cualquier porcentaje de adición de lodo. Considerando la clasificación más desfavorable para cada tipo de muestra, donde las propiedades físicas de los ladrillos elaborados con adición de lodo de aguas residuales en 0%, 5% y 10% tienen una clasificación en promedio de ladrillo Tipo I y son adecuadas para su clasificación como ladrillos ecológicos donde cuentan con medidas de 21.0 cm x 11.0 cm x 6.8 cm, por otro lado, los ladrillos elaborados con adición de lodo en 20% y 40% alcanzaron en una de las propiedades físicas, pero fueron considerados sin clasificación por tener al menos una propiedad física que no permitió su clasificación.

### **Conclusiones al OE2:**

Para la presente investigación se determinó si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la

ciudad de Puno, donde se determinó que las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería artesanales sólidas con adición de lodo de aguas residuales si mejoran en porcentajes menores al 10%. Considerando la clasificación más desfavorable para cada tipo de muestra la resistencia a la compresión axial y tracción por flexión de los ladrillos con incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% superan el valor mínimo de 50 kg/cm<sup>2</sup> con 55.7, 53.8 y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y se clasifican como ladrillo de Tipo I, clasificación más baja de las unidades de albañilería para fines estructurales. Caso contrario que para los ladrillos con adición de lodo en porcentajes mayores al 10% se presentan valores menores en la resistencia a la compresión axial como es para 20% y 40% de adición de lodo con 30.7 y 14.5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente donde no alcanzan valores para asignar una clasificación.

### **Conclusiones al OE3:**

Finalmente se determinó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, con la incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% donde cumplen con las características para ser aceptados como un material que se puede usar en construcciones de bajo nivel de exigencia en el servicio, con características aceptadas en: el peso, color, textura. Además, según la clasificación que hace Gallegos & Casabonne (2005) los ladrillos con 0% y 5% se clasifican como ladrillo 1 mientras que el ladrillo con 10% se clasifica como ladrillo 2.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **Recomendaciones al OG:**

Con los resultados obtenidos donde se llegó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las resistencias físico mecánicas del ladrillo artesanal, se recomienda realizar investigaciones con incorporación de lodo industrial, lodo de tratamiento de agua potable, etc. en porcentajes menores al 15% para de esa manera encontrar el porcentaje óptimo de lodo que se puede incorporar.

### **Recomendaciones al OE1:**

En función de los resultados obtenidos y dado que en la mayoría de los resultados las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con adición de lodo alcanza una clasificación mínima de ladrillo que es ladrillo Tipo I según la Norma E.070 e ITINTEC 331.017, se recomienda realizar investigaciones de la materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos en el centro Poblado de salcedo – la Rinconada, para determinar las proporciones adecuadas de los materiales que conforman la mezcla y obtener un ladrillo de mejor clasificación y disminuir las imperfecciones que presentan los ladrillos artesanales.

### **Recomendaciones al OE2:**

Referente a las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes se ha visto que la resistencia a la compresión axial y tracción por flexión cumple con los valores mínimos indicados por la norma E-0.70, para lo cual se recomienda realizar investigaciones en unidades de albañilería Semi Industriales con adición de lodo en porcentajes menores a 20% y comparar estos resultados con en esta investigación.

### **Recomendaciones al OE3:**

En relación a las características del ladrillo artesanal se pudo evidenciar que no existen investigaciones referidas a sus características, para lo cual se recomienda realizar investigaciones referidas a la composición química del lodo de la laguna de oxidación de Espinar – Puno, puesto que la mayoría de las características de los ladrillos están relacionados a la composición química de los materiales que lo conforman.

## REFERENCIAS

- Abanto, F. T. (2017). *Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería* (Segunda ed.). Lima: Editorial San Marcos E.I.R.Lta.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación* (Sexta ed.). Caracas, Venezuela: EPISTEME, C.A.
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos* (Tercera ed.). México D. F.: Limusa, S.A.
- Banea, G. (2014). *Metodología de la Investigación* (Primera ed.). México: PATRIA, S.A. de C.V.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Bogotá: Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Betancourt, S. (2017). *Materiales para la Construcción*. Santa Clara: Samuel Feijóo.
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (7ma ed.). México: CENGAGE Learning.
- Cabezas, E. D., Andrade, D., & Torres, J. (2018). *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. Sangolquí: Primera edición electrónica/<http://www.espe.edu.ec>. Obtenido de <http://www.espe.edu.ec>
- Camargo Gaona, L. E., & Yambay Santamaría, B. D. (2020). Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación para la obtención del. (*Tesis de Grado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Casteletti, J. I. (2018). *Nociones de Mecánica de Suelos* (2da ed.). Mérida: Universidad de los Andes.
- Chilón Villanueva, M. D., & Posadas Gonzales, W. A. (2018). Reutilización de Lodos Generados en el Tratamiento de Aguas Ácidas Para la Elaboración de Ladrillos Artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

- Diaz Granados, L. M. (2019). Propuestas de Tratamiento de los Lodos Residuales de Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. (*Tesis de Grado*). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil.
- El Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI. (2013). *Norma Técnica Peruana NTP 334.090*. Lima. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-normas-tecnicas-peruanas-sobre-cables-electricos-c-resolucion-n-46-2013cnb-indecopi-967567-1>
- Erdogmus, E., Harja, M., Gencel, O., Sutcu, M., & Yaras, A. (2021). New construction materials synthesized from water treatment sludge and fired clay brick wastes. *Journal of Building Engineering, 1*, 350-450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102471>.
- Escudero, C. L., & Cortez, L. A. (2017). *Técnicas y Métodos Cualitativos para la Investigación Científica* (Primera ed.). Machala: UTMACH.
- Esmeray, E., & Atis, M. (2019). Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick. *Construction and Building Materials, 194*, 110-121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.231>
- Espillico, E. (2019). Elaboración de ladrillos a Partir de Lodos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA. (s.f.). *Albañilería Estructural*. Obtenido de Laboratorio de Concreto Ingeniería Civil de la UNSA: <https://fdocuments.ec/document/69420749-ensayos-de-albanileria.html>
- Fernandes, F. M., Lourenço, P. B., & Castro, F. (2014). Ancient Clay Bricks: Manufacture. *Springer*, , 1-21. doi:[https://doi.org/10.1007/978-90-481-2684-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2684-2_3)
- Fuentes Molina, N., Isenia León, S. A., & Ascencio Mendoza, J. G. (diciembre de 2017). Biosolid treatment of domestic wastewater as additions in the manufacturing of ceramic bricks. *Producción + Limpia, 12(02)*, 92-102. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a8>

- Gallardo, Y., & Moreno, A. (1999). *Aprender a Investigar* (Tercera ed.). Santa Fé de Bogotá: ARFO EDITORES LTDA.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural* (Tercera ed.). Lima: PUCP - Fondo Editorial.
- Gutiérrez, L. (2003). *El Concreto y otros Materiales* (Segunda ed.). Manizales: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia.
- Heath, A., Maskell, D., Walker, P., Lawrence, M., & Fourie, C. (2014). Modern earth masonry: Structural properties and structural design. *BRE Centre in Innovative Construction Materials (BRE CICM)*, 90, 38-44. Obtenido de <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=84861089209&partnerID=8YFLogxK>
- Huillcaya Mendoza, P., & Vidal Chávez, N. Y. (2018). Influencia del porcentaje óptimo de inclusión de biosólidos de la PTAR San Jerónimo Cusco en las propiedades físico – mecánicas de ladrillos King Kong de 18 huecos y pilas de albañilería según la NTP e.070. *MAST'ARIY*, 1(5), 11-15. Obtenido de <https://revistas.uandina.edu.pe/index.php/mastariy/article/view/118>
- Limón, J. G. (2013). *Los Lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ¿Problema o Recurso?* Guadalajara,: Academia de Ingeniería México.
- Niño, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagomez, A. (2014). *Metodología de la Investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Cuarta ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Orozco Jaramillo, A. (2014). *Bioingeniería de Aguas Residuales* (2da ed.). Bogotá: ACODAL.
- Palella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa* (Tercera ed.). Caracas: Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL).

- Peralta Pintado, J. R. (2018). Elaboración de Ladrillos Cerámicos Utilizando Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán en la Ciudad de Cuenca. (*Tesis de Postgrado*). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Phaiju, S., & Pradhan, P. M. (2018). Experimental work for mechanical properties of brick and masonry panel. *Journal of Science and Engineering*, 5, 51-57. doi:<https://doi.org/10.3126/jsce.v5i0.22372>
- Ravi Teja, P. R. (2015). Studies On Mechanical Properties. (*Tesis de Maestría*). National Institute of Technology Rourkela, Rourkela - India. Obtenido de <http://ethesis.nitrkl.ac.in/6884/>
- Rojas, R. (2013). *Guía Para Realizar Investigaciones Sociales* (Novena ed.). México: Plaza y Valdés, S. A.
- Sánchez De Guzmán, D. (1993). *Tecnología del concreto y del mortero* (2da ed.). Bogotá: BHANDAR EDITORES.
- Santos Parra, L. C. (2019). Materiales de Construcción a Base de Lodos Residuales Provenientes del Proceso de Filtración en Industrias Cerveceras. (*Tesis de Posgrado*). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Sarabia Guarín, A., Sánchez Molina, J., & Bermúdez Carrillo, J. C. (2021). Efecto del uso de lodo residual de las plantas de tratamiento de agua como un sustituto parcial de arcilla en la producción de ladrillos refractarios. *Revista UIS Ingenierías*, 20, 11-12. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021002>
- Soto Cahuana, A. A. (2019). Ladrillos Refractarios de Alúmina a Partir de Lodos Residuales Minerales en la Región Junín. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.
- Toirac Corral, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y sociedad*, 520-571. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-y-sociedad/articulo/el-suelo-cemento-como-material-de-construccion>
- United States Environmental Protection Agency, (EPA). (2013). Control of Pathogens and Vector Attraction. 186. Obtenido de

<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-625-r-92-013.pdf>

Verruijt, A. (2011). *Delft University of Technology*. Obtenido de <http://geo.verruijt.net/>.

[www.arkiplus.com](http://www.arkiplus.com). (14 de 07 de 2021). Características de un buen ladrillo. *Arkiplus*. Obtenido de <https://www.arkiplus.com/caracteristicas-de-un-buen-ladrillo/>

Zapata Altamirano, M. C. (2020). Adición de lodo orgánico de la bahía el Ferrol en ladrillos macizos artesanales de arcilla para mejorar sus propiedades físicas. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3591>

# **ANEXOS**

ANEXO 1: Matriz de consistencia

ANEXO 2: Instrumentos de investigación validado

ANEXO 3: Certificados y/o protocolos de ensayos de laboratorio

ANEXO 4: Mapa de ubicación del proyecto de investigación

ANEXO 5: Registro fotográfico

ANEXO 6: Pantallazo del Software Turnitin

## ANEXO 1: Matriz de consistencia

TÍTULO: Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021.							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE  <b>Lodo de aguas residuales</b>	Plasticidad	Limite plástico	MTC E-110	<b>Método:</b> Científico <b>Tipo:</b> Aplicada. <b>Nivel:</b> Explicativa. <b>Diseño:</b> Experimental <b>Enfoque</b> Cuantitativo <b>Población:</b> 150 ladrillos artesanales elaborados con incorporación de lodo de aguas residuales en diferentes porcentajes. <b>Muestra:</b> 20 ladrillos con 0%, 20 ladrillos con 5%, 20 ladrillos con 10%, 20 ladrillos con 20% y 20 ladrillos con 40%, con incorporación de lodo de aguas residuales. <b>Técnica:</b> Observación directa <b>Instrumentos:</b> Cuestionario/Ficha de recopilación de información
¿De qué manera la incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejorarán las <b>propiedades físico mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021?	Analizar si la incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejoran las <b>propiedades físico mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.	La incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejora las <b>propiedades físico mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.			Diseño de mezcla	Limite liquido	
				Indice de plasticidad		MTC E-110, MTC E-111	
				Porcentaje de lodo	0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo		
				Granulometría	ASTM D-422		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE  <b>Propiedades físico mecánicas</b>	Propiedades físicas	Variación dimensional	NTP 399.613, ITINTEC 331.019	
¿De qué manera la incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejorarán las <b>propiedades físicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021?	Determinar si la incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejoran las <b>propiedades físicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.	La incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejora las <b>propiedades físicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.			Alabeo	NTP 399.613, ITINTEC 331.019	
					Densidad	NTP 399.613	
					Absorción	NTP 399.604 y 399.613	
					Succión	NTP 399.613	
¿En qué medida la incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejorarán las <b>propiedades mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021?	Cuantificar si la incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejorará las <b>propiedades mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.	La incorporación <b>lodo de aguas residuales</b> mejora las <b>propiedades mecánicas</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.		Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión axial	NTP 399.613	
					Resistencia a la compresión uniaxial	NTP 399.605	
					Resistencia a la tracción	NTP 399.613	
¿De qué manera la incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejorarán las <b>características</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021?	Definir si la incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejoran las <b>características</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.	La incorporación de <b>lodo de aguas residuales</b> mejora las <b>características</b> de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021.	Características del ladrillo	Peso	E.070		
				Color	E.070		
				Textura	E.070		
				Solidez	E.070		
				Dureza	E.070		

## ANEXO 2: Instrumentos de investigación validado

### HOJA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:**

"Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

**APELLIDO Y NOMBRES:**

Chura Huaquisto Clenio

#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

APELLIDOS Y NOMBRES DEL EXPERTO	CIP	DNI	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	FIRMA
<p>Germaín Belizario Quiope</p>	<p>80986</p>	<p>01295478</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limite plástico</li> <li>• Limite líquido</li> <li>• Índice de plasticidad</li> <li>• Variación dimensional</li> </ul>	 <p>D. Sr. Germaín Belizario Quiope INGENIERO CIVIL CIP. N° 80986</p>
<p>Rogelio Noa Aliaga</p>	<p>76334</p>	<p>01327588</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alabeo</li> <li>• Densidad</li> <li>• Absorción</li> <li>• Succión</li> <li>• Resistencia a la compresión axial</li> </ul>	 <p>ROBELIO NOA ALIAGA ING. CIVIL CIP N° 76334</p>
<p>ALARCON ATAHUACHI ALFREDO</p>	<p>81732</p>	<p>01335859</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la compresión uniaxial (pilas)</li> <li>• Resistencia a la tracción por flexión</li> </ul>	  <p>ALFREDO ALARCON ATAHUACHI INGENIERO CIVIL Reg. CIP. 81732</p>

## INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### I DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres del experto: Belizario Quispe Germán

Cargo e institución donde labora: Docente - UNA PUNO

Especialidad del experto: Ingeniero Civil

Título de la investigación: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

Autor de la investigación: Chura Huaquisto Clenio

### II ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Valore en una escala del 1 al 5 según el grado de relevancia que pueda otorgar a cada criterio e indicador, señalando con un aspa (x) su respuesta en la casilla que corresponda

1. Deficiente    2. Regular    3. Buena    4. Muy buena    5. Excelente

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Esta formulado en lenguaje comprensible					X
Objetividad	Esta de acuerdo a las leyes y principios científicos					X
Actualidad	Esta de acuerdo a los objetivos y necesidades de la investigación				X	
Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos, y científicos					X
Coherencia	Hay coherencia entre los problemas, objetivos, variables					X
Metodología	Responde a una metodología y diseños aplicadas					X
Promedio de validación						X

### III OPINION DE LA APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad
- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad

Si

  
 Dr. Sc. Germán Belizario Quispe  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 80986

Firma del Experto Informante

CIP: 80986

DNI: 01295418... Telf. 95151005

## INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### I DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres del experto: Nea Aliaga Rogelio

Cargo e institución donde labora: Docente - Universidad Nacional Altiplano

Especialidad del experto: Ingeniería Civil

Título de la investigación: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

Autor de la investigación: Chura Huaquisto Glenio

### II ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Valore en una escala del 1 al 5 según el grado de relevancia que pueda otorgar a cada criterio e indicador, señalando con un aspa (x) su respuesta en la casilla que corresponda

1. Deficiente    2. Regular    3. Buena    4. Muy buena    5. Excelente

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Esta formulado con lenguaje comprensible					X
Objetividad	Esta de acuerdo a las leyes y principios científicos					X
Actualidad	Esta de acuerdo a los objetivos de la investigación				X	
Consistencia	Se respalda en fundamentos técnicos, teóricos					X
Coherencia	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, variables				X	
Metodología	Responde una metodología y diseño aplicada					X
<b>Promedio de validación</b>						X

### III OPINION DE LA APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad
- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad

Si



ROGELIO NOA ALIAGA  
ING. CIVIL  
CIP N° 76334

Firma del Experto Informante

CIP: 76334...

DNI: 01327588... Telf: 94677968

## INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### I DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres del experto: ALARCON ATAHUACHI ALFREDO

Cargo e institución donde labora: DOCENTE - UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR C. V.

Especialidad del experto: PAVIMENTOS MECANICA SUELOS MATERIALES

Título de la investigación: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

Autor de la investigación: Chura Huaquisto Clenio

### II ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Valore en una escala del 1 al 5 según el grado de relevancia que pueda otorgar a cada criterio e indicador, señalando con un aspa (x) su respuesta en la casilla que corresponda

1. Deficiente      2. Regular      3. Buena      4. Muy buena      5. Excelente

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	ESTA FORMULADO EN LENGUAJE COMPRENSIBLE					X
Objetividad	ESTA DE ACUERDO A LOS LEYES Y PRINCIPIOS CIENTIFICOS				X	
Actualidad	ESTÁ DE ACUERDO A LOS OBJETIVOS Y NECESIDADES DE LA INVESTIGACION			X		
Consistencia	SE RESPONDE EN FUNDAMENTOS TECNICOS Y CIENTIFICOS				X	
Coherencia	EXISTE COHERENCIA ENTRE LOS PROBLEMAS, OBJETIVOS Y VARIABLES				X	
Metodología	LA ESTRATEGIA RESPONDE UNO METODOLOGIA Y DISEÑO APLICADOS					X
Promedio de validación					X	

### III OPINION DE LA APLICABILIDAD

- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad
- Los instrumentos cumplen para su aplicabilidad

SI

  
 .....  
 Firma del Experto Informante  
 CIP: 81732...  
 DNI: 01335859... Telf: 939000744

## VALORACIÓN DE LA CONSISTENCIA INTERNA DE UNA ESCALA O CUESTIONARIO

### A) Consistencia interna para escalas cuantitativas: Coeficiente alfa de Cronbach

	ítems de una dimensión					
EXPERTO	1	2	3	4	5	6
1	5	5	4	5	5	5
2	5	5	4	5	4	5
3	5	4	3	4	4	5
Puntuación media de cada ítem:	5.0	4.7	3.7	4.7	4.3	5.0
Varianza, $s^2_i$	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00
Sumat ( $s^2_i$ ) =	1.33					

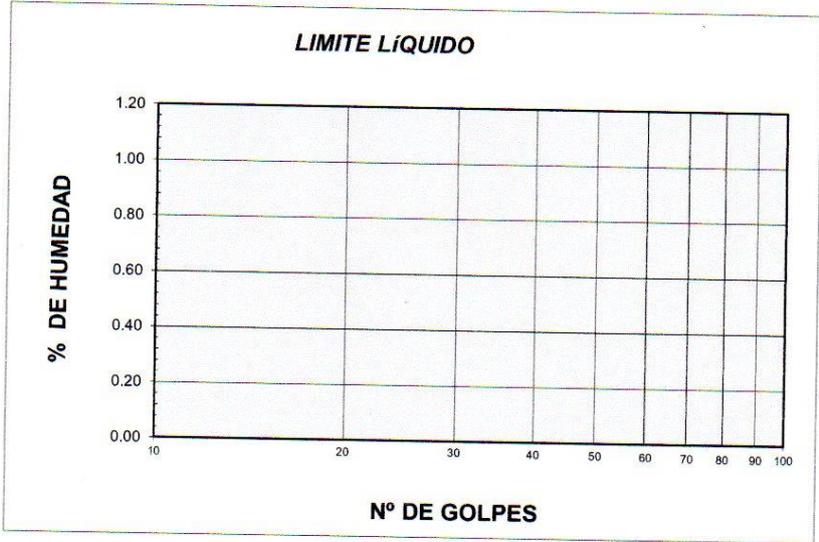
nº ítems: k = 6  
 N= Contar = 3  
 $S_T^2$ =Varianza = 4.33

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \times \left[ 1 - \frac{\text{Sumat}(S_i^2)}{S_T^2} \right] = 0.83$$

<b>ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO</b> (MTC E-110)	<b>INSTRUMENTO</b> N° 01
--	-----------------------------

<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno
<b>FECHA</b>	: .....
<b>MUESTRA</b>	: Lodo de Aguas residuales - Laguna de oxidacion Espinar

LÍMITE LÍQUIDO				
N° de tarro				
Tarro + Suelo Húmedo				
Tarro + Suelo Seco				
Agua				
Peso del Tarro				
Suelo seco				
% de Humedad				
N° de Golpes				



  
**D. Sc. German Belizario Quispe**  
**INGENIERO CIVIL**  
 C.P. N° 80986

  
**ROGELIO NOA ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
 CIP N° 76334

  
  
**ALFREDO ALARCÓN ATAHUALPA**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP. 81732

<b>ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO</b> (MTC E-111)	<b>INSTRUMENTO N°</b> 02
---	-----------------------------

<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisito Clenio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno
<b>FECHA</b>	: .....
<b>MUESTRA</b>	: Lodo de Aguas residuales - Laguna de oxidacion Espinar

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				
N° de tarro				
Tarro + Suelo Húmedo				
Tarro + Suelo Seco				
Agua				
Peso del Tarro				
Suelo seco				
% de Humedad				

L.L. =	L.P. =	I.P. =
--------	--------	--------

  
 D. Sc. **Germán Belizario Quispe**  
**INGENIERO CIVIL**  
 CIP. N° 80986

  
  
**ALFREDO MENDIATA HUACHI**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP. 81732

  
**ROGELIO NOA ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
 CIP N° 76334

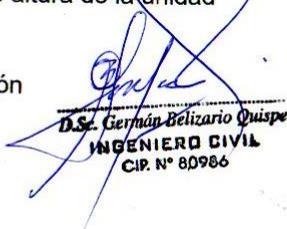
<b>VARIACIÓN DIMENSIONAL</b> (NTP 399.613, ITINTEC 331.019)	<b>INSTRUMENTO</b> N° 03
--	-----------------------------

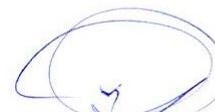
<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno
<b>FECHA</b>	: .....
<b>MUESTRA</b>	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales

Especimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01															
E-02															
E-03															
				Lo					Lo					Lo	
				Prom					Prom					Prom	
				$\sigma$					$\sigma$					$\sigma$	
				$\delta$					$\delta$					$\delta$	
				%V					%V					%V	

**Donde:**

- Lo : Longitud de largo especificada por el fabricante
- Lprom : Longitud promedio de largo de la unidad
- Ao : Longitud de ancho especificado por el fabricante
- Aprom : Longitud promedio de ancho de la unidad
- Ho : Longitud de altura especificado por el fabricante
- Hprom : Longitud promedio de altura de la unidad
- $\sigma$  : Desviación estándar
- $\delta$  : Variación
- %V : Porcentaje de variación

  
**D.S. Germán Belizario Quispe**  
**INGENIERO CIVIL**  
 CIP. N° 80986

  
**ROGELIO NOA ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
 CIP N° 76334

**ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP. 8178c

<b>ALABEO</b> (NTP 399.613, ITINTEC 331.019)	<b>INSTRUMENTO</b> N° 04
---	-----------------------------

<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno
<b>FECHA</b>	: .....
<b>MUESTRA</b>	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales

Especimen	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Cóncauidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncauidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1								
E-2								
E-3								
			Cóncavo					
			Convexo					

  
**D. Sr. German Belizario Quijpe**  
**INGENIERO CIVIL**  
 CIP. N° 80986

  
**ROBERTO NOA ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
 CIP N° 76334

**ALFREDO ALCARÓN ATAHUACHI**  
**INGENIERO CIVIL**  
 Reg. CIP. 81732

<b>ABSORCIÓN</b> (NTP 399.604 y NTP 399.613)		INSTRUMENTO N° 05
<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"	
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio	
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno	
<b>FECHA</b>	: .....	
<b>MUESTRA</b>	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales	

Espécimen	Ws Peso seco (gr)	Wa Peso saturado 24h (gr)	We 5h ebullición	Absorción (%)	Absorción Máxima (%)	Coef. Saturación (%)
E-1						
E-2						
E-3						
Promedio						

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{(W_a - W_s)}{W_s} \times 100$$

$$\text{Absorción Máxima}(\%) = \frac{(W_e - W_s)}{W_s} \times 100$$

$$\text{Coef. Sat.} = \frac{\text{Absorción}}{\text{Absorción Máx.}}$$

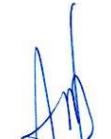
Donde:

Wa : Peso del espécimen saturado sumergido por 24 horas (gr.)

Ws : Peso del espécimen seco (gr.)

We : Peso del espécimen saturado en 5 horas en ebullición (gr.)

  
 D.Sc. **Germán Belizario Quispe**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 80986

  
  
**ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. C.I.P. 81754

  
**ROGELIO NOA ALIAGA**  
 ING. CIVIL  
 CIP N° 76334

ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)		INSTRUMENTO N° 06
PROYECTO	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"	
TESISTA	: Chura Huaquisto Clenio	
UBICACIÓN	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno	
FECHA	: .....	
MUESTRA	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales	

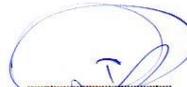
Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso Mojado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))
E-1							
E-2							
E-3							
Promedio							
dev. Standar							
Prom-devs							

$$\text{Succión (gr/200 - cm}^2\text{ - min)} = \frac{200 * (Pm - Ps)}{A}$$

Donde:

- A : Area de contacto (cm<sup>2</sup>)
- Ps : Peso del espécimen seco (gr.)
- Pm : Peso de la muestra húmeda, despues de la succión (gr.)

  
**D.Sc. Germán Belizario Quispe**  
**INGENIERO CIVIL**  
**CIP N° 80996**

  
**ROGELIO ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
**CIP N° 76334**

  
  
**ALFREDO ALARCÓN ATAHUALPA**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP. 81732**

<b>ENSAYO DE DENSIDAD</b> (NTP 399.613)		INSTRUMENTO N° 07
<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"	
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio	
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno	
<b>FECHA</b>	: .....	
<b>MUESTRA</b>	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales	

Espécimen	P0 Peso seco (gr.)	P1 Peso saturado sumergido (gr)	P2 Peso 3h ebullición (gr.)	V P2-P1 (cm3)	ρ Pseco/V (gr/cm3)
E-1					
E-2					
E-3					
				Promedio	

$$\rho = \frac{P_0}{V}$$

$$V = P_2 - P_1$$

Donde:

- ρ : Densidad del espécimen (gr/cm3)
- V : Volumen (cm3)
- P0 : Peso del espécimen seco (gr.)
- P1 : Peso del espécimen saturado sumergido por 24 horas (gr.)
- P2 : Peso del espécimen saturado 3 horas en ebullición (gr.)

*[Firma]*  
**D.Sc. Germán Belizario Quispe**  
**INGENIERO CIVIL**  
**CIP N° 88986**

*[Firma]*  
**ROCELIO NOA ALIAGA**  
**ING. CIVIL**  
**CIP N° 76334**

*[Firma]*  
  
**ALFREDO ALARCÓN HUACHA**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP. 81732**

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE) (NTP 399.613)		INSTRUMENTO N° 08
PROYECTO	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"	
TESISTA	: Chura Huaquisto Clenio	
UBICACIÓN	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno	
FECHA	: .....	
MUESTRA	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales	

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	P Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a compresión $f'_b$ (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a compresión $f'_b$ (Mpa)
E-1							
E-2							
E-3							
Promedio							
desv. Standar							
Prom-desv							

Área de contacto:

$$A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

Resistencia a compresión axial

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

Desviación estándar :

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(x - x_{prom})^2}{n - 1}}$$

Resistencia característica

$$f'_b = \text{promedio} - Ds$$

  
 D.Sc. German Belizario Quispe  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 83926

  
 ROGELIO NOA ALIAGA  
 ING. CIVIL  
 CIP N° 76334

  
 ALFREDO ALARCÓN AHUACHI  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 81732

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL EN PRISMAS**  
(NTP 399.605)

**INSTRUMENTO**  
N° 09

<b>PROYECTO</b>	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"
<b>TESISTA</b>	: Chura Huaquisto Clenio
<b>UBICACIÓN</b>	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno
<b>FECHA</b>	: .....
<b>MUESTRA</b>	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	Area BxL (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	Carga de rotura (kg-f)	Esbeltes	Factor de corrección	Resistencia a Compresión fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. fm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. fm (Mpa)
E-1													
E-2													
E-3													
										Promedio			
										Desv. Standar			
										Prom-desv			

Donde:

Area de contacto:  $A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$

Resistencia a compresion  $f_m = \frac{P}{A}$

F.C. : Factor de corrección por esbeltes

Resistencia a compresion corregida  $f_{m \text{ corregida}} = F.C. \times f_m$

Coef. I : Factores de incremento por edad

Resistencia característica  $f'_m = \text{Coef I} - f_{m \text{ corregida}}$

Desviación estándar:  $Ds = \frac{\sqrt{\sum(x - x_{prom})^2}}{n - 1}$

Resistencia característica  $f'_m = \text{promedio} - Ds$

*[Signature]*  
**D.S. Germán Belizario Quispe**  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 82700

*[Signature]*  
**ROGLIO MORA ALIAGA**  
ING. CIVIL  
CIP N° 76334

*[Signature]*  
**ALFREDO ALARCON AHUACHA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 81/32

ENSAYO DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)		INSTRUMENTO N° 10
PROYECTO	: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"	
TESISTA	: Chura Huaquisto Clenio	
UBICACIÓN	: Distrito de Puno - Provincia Puno - Departamento de Puno	
FECHA	: .....	
MUESTRA	: Ladrillo artesanal con adición de .....% de lodo de Aguas Residuales	

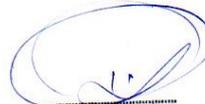
Espécimen	P Carga de rotura (kg-f)	Distancia entre apoyos (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	f'tb (kg/cm2)
E-1					
E-2					
E-3					
Promedio					
dev. Standar					
Prom-devs					

$$f'_{tb} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Donde:

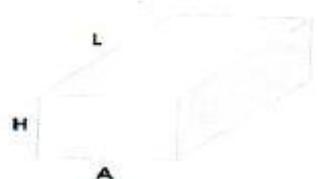
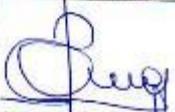
- f'tb : Ensayo de resistencia a tracción por flexión (kg/cm2)
- P : Carga máxima aplicada al espécimen (kg)
- L : Longitud entre apoyos (cm)
- b : Ancho de la unidad (cm)
- h : Altura de la unidad (cm)

  
**D. Sr. Germán Belizario Quispe**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. N° 85936

  
**ROGELIO NOA ALIAGA**  
 ING. CIVIL  
 CIP N° 76334

  
**ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 81732

**ANEXO 3: Certificados y/o protocolos de ensayos de laboratorio**

	<b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>		
	TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"		
<b>ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL (NTP 399.613-2005)</b>			
Descripción: ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL		Fecha: 15/06/2021	
% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo			
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.			
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio			
<b>Muestra</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>A (mm)</b>
<b>E-01</b>	203	66	108
	204	66	108
	203	68	108
	202	68	108
<b>Promedio</b>	<b>203</b>	<b>67</b>	<b>108</b>
<b>Muestra</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>A (mm)</b>
<b>E-02</b>	204	63	109
	205	63	108
	206	63	110
	205	63	109
	205	63	109
<b>Promedio</b>	<b>205</b>	<b>63</b>	<b>109</b>
<b>Muestra</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>A (mm)</b>
<b>E-03</b>	206	62	108
	207	62	110
	208	62	108
	207	62	110
<b>Promedio</b>	<b>207</b>	<b>62</b>	<b>109</b>
			
Observaciones: ..... ..... .....			
<b>TESISTA</b>	<b>RESPONSABLE DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>
			
Br. CLELIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI		Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-01	204	61	109
	202	63	110
	201	62	109
	201	62	108
Promedio	202	62	109

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-02	202	63	108
	202	64	110
	200	64	109
	200	65	109
Promedio	201	64	109

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-03	201	64	110
	201	63	110
	203	62	111
	203	63	109
Promedio	202	63	110



Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL

Fecha: 15/06/2021

% de Incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

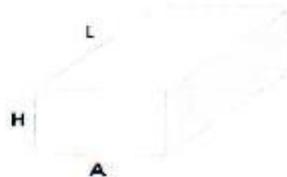
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-01	199	66	106
	200	67	108
	199	68	107
	198	67	107
Promedio	199	67	107

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-02	201	65	108
	202	65	108
	203	64	108
	202	66	108
Promedio	202	65	108

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-03	200	61	109
	202	62	107
	203	63	109
	203	62	107
Promedio	202	62	108



Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL

Fecha: 15/06/2021

% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Glenio

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-01	203	65	109
	202	66	108
	202	66	110
	201	67	109
Promedio	202	66	109

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-02	204	65	107
	203	66	108
	203	65	107
	202	64	106
Promedio	203	65	107

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-03	202	61	109
	202	60	109
	202	60	109
	202	59	109
Promedio	202	60	109



Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. GLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUCUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

### ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL

Fecha: 15/06/2021

% de Incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

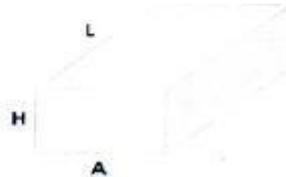
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-01	201	66	100
	202	65	102
	200	65	102
	201	64	100
Promedio	201	65	101

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-02	200	61	105
	200	60	106
	198	60	104
	198	59	105
Promedio	199	60	105

Muestra	L (mm)	H (mm)	A (mm)
E-03	198	63	106
	198	64	105
	199	64	104
	197	65	105
Promedio	198	64	105



Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE ALABEO

Fecha: 26/06/2021

% de incorporación de lodo: 0% de adición de lodo

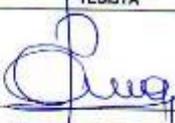
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huanquisto Clenio

MUESTRA	Cara superior (A)				Cara superior (B)			
	Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-01			0.50	0.50	2.00	2.50		
E-02			1.00	1.00	1.00	2.50		
E-03	2.00	2.50			2.00	3.00		



Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DEL LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUANGUSTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE ALABEO

Fecha: 26/08/2021

% de incorporación de lodo: 5% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Cleo

MUESTRA	Cara superior (A)				Cara superior (B)			
	Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-01			0.50	0.50	2.00	1.50		
E-02			1.50	1.50	2.50	1.50		
E-03			1.00	1.00	1.50	2.50		



Observaciones:

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLEO CHURA HUAQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE ALABEO

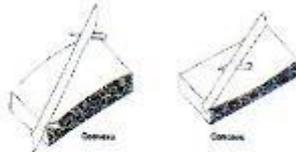
Fecha: 26/06/2021

% de incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Cara superior (A)				Cara superior (B)			
	Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-01			1.00	2.00	1.50	2.00		
E-02			2.00	1.00	4.00	4.00		
E-03	1.00	1.00					1.00	0.50



Observaciones:

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE ALABEO

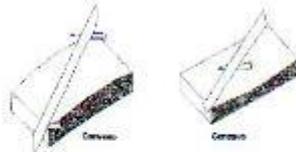
Fecha: 28/06/2021

% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Hualquisto Clelio

MUESTRA	Cara superior (A)				Cara superior (B)			
	Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-01			1.00	1.00	1.50	2.50		
E-02			1.50	1.50	3.50	4.00		
E-03			1.00	1.00	2.00	1.50		



Observaciones:

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLELIO CHURA HUALQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE ALABEO

Fecha: 28/08/2021

% de incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huacústo Clelio

MUESTRA	Cara superior (A)				Cara superior (B)			
	Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-01	1.00	1.00			4.00	3.50		
E-02			1.50	1.50	2.50	1.50		
E-03			1.00	1.50	3.00	3.50		



Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
 Br. CLELIO CHURA HUACÚSTO	 Ing. ALFREDO ALARCÓN ATAHUALPA	 Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE DENSIDAD (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE DENSIDAD

% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo

Fecha: 16/06/2021

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clerio

MUESTRA		E-01			
Peso (gr)					Volumen (cm3)
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
2258.0	1228.0	2698.5	330.0		1460.5

MUESTRA		E-02			
Peso (gr)					Volumen (cm3)
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
2264.0	1232.0	2698.2	330.0		1466.2

MUESTRA		E-03			
Peso (gr)					Volumen (cm3)
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
2269.0	1243.0	2701.0	330.0		1458.0

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLEO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE DENSIDAD (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE DENSIDAD

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA E-01					MUESTRA E-02				
Peso (gr)					Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)	Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
2230.0	1246.5	2666.0	330.0	1419.5	2226.0	1261.0	2695.0	330.0	1434.0

MUESTRA E-03				
Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
2241.0	1253.0	2681.0	330.0	1428.0

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLELIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE DENSIDAD (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE DENSIDAD

Fecha: 16/08/2021

% de Incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA E-01					MUESTRA E-02				
Peso (gr)					Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)	Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
2051.0	1145.0	2542.5	330.0	1397.0	2056.0	1132.0	2544.0	330.0	1412.0

MUESTRA E-03				
Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
2062.0	1151.0	2551.0	330.0	1400.0

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLELIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE DENSIDAD (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE DENSIDAD  
% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Fecha: 16/08/2021

MUESTRA		E-01			Volumen (cm3)
Peso (gr)					
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
1949.0	1080.0	2524.0	330.0	1444.0	

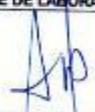
MUESTRA		E-02			Volumen (cm3)
Peso (gr)					
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
1952.0	1085.0	2498.0	330.0	1433.0	

MUESTRA		E-03			Volumen (cm3)
Peso (gr)					
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla		
1955.0	1052.0	2503.0	330.0	1451.0	

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
 Br. CLENIO CHURA HUACUISTO	 Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	 Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE DENSIDAD (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE DENSIDAD

Fecha: 18/06/2021

% de Incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Clelio Huasqui Cienio

MUESTRA E-01					MUESTRA E-02				
Peso (gr)					Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)	Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
1642.0	886.0	2198.0	330.0	1312.0	1644.0	872.0	2182.0	330.0	1310.0

MUESTRA E-03				
Peso (gr)				
Peso seco	Peso sumergido 24 hr.	Peso ebullicion 3 hr.	Peso canastilla	Volumen (cm3)
1638.0	888.0	2176.0	330.0	1308.0

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLELIO CHURA HUASQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

**ENSAYO DE ABSORCIÓN (NTP 399.604 y NTP 399.613)**

Descripción: ENSAYO DE ABSORCIÓN  
% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Fecha: 24/08/2021

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.	MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-01	2255.0	2258.0	2726.0	2826.0	E-02	2260.0	2264.0	2734.0	2831.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-03	2255.0	2268.0	2741.0	2843.0

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLELIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ABSORCIÓN (NTP 399.604 y NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE ABSORCIÓN Fecha: 24/08/2021  
 % de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo  
 ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ensayado por: Br. Chura Huarqui Clelio

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-01	2226.0	2230.0	2691.0	2791.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-02	2221.0	2226.0	2696.0	2788.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-03	2237.0	2241.0	2689.0	2784.0

Observaciones:

.....

.....

.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLELIO CHURA HUARQUI	Ing. ALFREDO ALARCÓN ATAHUCHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ABSORCIÓN (NTP 399.604 y NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE ABSORCIÓN  
 % de Incorporación de lodo: 10% de adición de lodo  
 ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

Fecha: 24/06/2021

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-01	2047.0	2051.0	2517.0	2598.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-02	2052.5	2056.0	2523.0	2601.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-03	2058.0	2062.0	2530.0	2599.0

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ABSORCIÓN (NTP 399.604 y NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE ABSORCIÓN  
% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Cienio  
Fecha: 24/08/2021

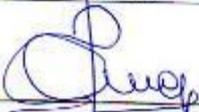
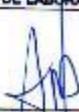
MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-01	1945.0	1949.0	2455.0	2508.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-02	1949.0	1952.0	2458.0	2511.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-03	1951.0	1955.0	2461.0	2512.0

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
 Br. CIENIO CHURA HUAQUISTO	 Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUCHI	 Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE ABSORCIÓN (NTP 399.604 y NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE ABSORCIÓN  
 % de Incorporación de lodo: 40% de adición de lodo  
 ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clorio

Fecha: 24/08/2021

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-01	1636.0	1642.0	2195.0	2215.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-02	1639.0	1644.0	2198.0	2209.0

MUESTRA	W natural (gr) Wn	W seco (gr) Ws	W húmedo 24 hrs. (gr) Wh	We 5h ebul.
E-03	1631.0	1638.0	2191.0	2201.0

Observaciones:

.....

.....

.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLEO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE SUCCIÓN  
 Fecha: 18/06/2021  
 % de incorporación de lodo: 0% de adición de lodo  
 ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-01	20.4	10.9	2263.0	2309.0
	20.4	10.8		
	20.5	10.9		
	20.5	10.9		
Promedio	20.5	10.9		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-02	20.5	10.9	2270.0	2331.0
	20.5	10.6		
	20.6	10.9		
	20.6	10.8		
Promedio	20.6	10.9		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-03	20.5	10.8	2265.0	2318.0
	20.5	10.9		
	20.5	10.8		
	20.6	11.0		
Promedio	20.5	10.9		

Observaciones:

.....  
 .....  
 .....

TESISTA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ASESOR

Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO

Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE SUCCIÓN  
Fecha: 16/06/2021  
% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

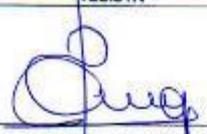
MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-01	20.4	11.1	2234.0	2283.0
	20.5	11.3		
	20.6	11.2		
	20.4	11.3		
Promedio	20.5	11.2		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-02	20.2	11.0	2245.0	2295.0
	20.2	11.0		
	20.1	11.2		
	20.2	11.1		
Promedio	20.2	11.1		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-03	20.4	11.0	2227.5	2277.0
	20.5	11.0		
	20.3	11.1		
	20.3	11.2		
Promedio	20.4	11.1		

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE SUCCIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

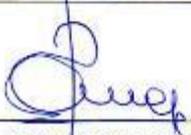
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh	MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-01	20.3	11.1	2132.0	2195.0	E-02	20.1	11.2	2053.0	2137.0
	20.5	11.0				20.2	11.0		
	20.5	11.0				20.3	11.2		
	20.3	11.0				20.2	10.9		
Promedio	20.4	11.0			Promedio	20.2	11.1		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-03	20.0	11.0	2138.0	2189.5
	20.2	11.1		
	20.3	10.9		
	20.3	11.1		
Promedio	20.2	11.0		

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

**ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)**

Descripción: ENSAYO DE SUCCIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de incorporación de lodo: 20% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Hucquisto Clenio

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-01	20.5	11.2	1945.0	2036.0
	20.4	11.1		
	20.6	11.3		
	20.4	11.2		
Promedio	20.5	11.2		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-02	20.4	10.9	2004.0	2070.0
	20.3	11.1		
	20.3	11.2		
	20.5	10.9		
Promedio	20.4	11.0		

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-03	20.3	10.9	1939.5	2030.0
	20.3	11.2		
	20.3	11.1		
	20.5	11.0		
Promedio	20.4	11.1		

Observaciones:

.....

.....

.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

### ENSAYO DE SUCCIÓN (NTP 399.613)

Descripción: ENSAYO DE SUCCIÓN

Fecha: 16/08/2021

% de incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh	MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-01	20.1	11.0	1627.0	1774.0	E-02	19.8	10.8	1689.0	1805.0
	20.2	10.9				19.9	10.6		
	20.0	10.9				19.7	10.6		
	20.1	10.8				19.6	10.7		
Promedio	20.1	10.9	Promedio	19.8		10.7			

MUESTRA	Largo (cm)	Ancho (cm)	W seco (gr) Ws	W húmedo (gr) Wh
E-03	19.9	10.6	1622.5	1768.5
	20.1	10.7		
	19.9	10.4		
	20.0	10.5		
Promedio	20.0	10.6		

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE)

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-01		14236.0	20.3	10.8	
			20.3	10.8	
			20.3	10.8	
			20.2	10.8	
Promedio			20.3	10.8	219.24

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-02		12406.0	20.6	10.9	
			20.5	10.9	
			20.5	10.8	
			20.4	10.9	
Promedio			20.5	10.9	223.45

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-03		13696.0	20.7	10.9	
			20.8	10.8	
			20.7	10.8	
			20.7	10.9	
Promedio			20.7	10.9	225.63

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE) Fecha: 16/06/2021  
% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Húaquiño Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-01		12333.0	20.2	10.9	
			20.1	10.8	
			20.2	10.8	
			20.2	10.9	
Promedio			20.2	10.9	220.18

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-02		12053.0	20.1	10.9	
			20.1	10.9	
			20.1	10.8	
			20.1	10.8	
Promedio			20.1	10.9	219.09

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-03		13832.0	20.2	11.0	
			20.2	11.0	
			20.1	11.1	
			20.2	11.0	
Promedio			20.2	11	222.2

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE) Fecha: 16/06/2021  
% de Incorporación de lodo: 10% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm <sup>2</sup>
E-01		13605.0	19.9	10.7	
			19.8	10.7	
			19.9	10.7	
			19.8	10.6	
Promedio			19.9	10.7	212.93

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm <sup>2</sup>
E-02		12437.0	20.2	10.8	
			20.2	10.9	
			20.2	10.8	
			20.2	10.8	
Promedio			20.2	10.8	218.16

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm <sup>2</sup>
E-03		12539.0	20.2	10.8	
			20.1	10.8	
			20.1	10.8	
			20.2	10.8	
Promedio			20.2	10.8	218.16

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE) Fecha: 16/06/2021  
 % de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo  
 ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-01		8326.0	20.2	10.9	
			20.2	10.9	
			20.1	11.0	
			20.2	10.8	
Promedio			20.2	10.9	220.18

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-02		7820.0	20.3	10.7	
			20.4	10.8	
			20.3	10.7	
			20.3	10.7	
Promedio			20.3	10.7	217.21

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-03		6660.0	20.2	10.9	
			20.1	10.9	
			20.1	10.9	
			20.2	10.9	
Promedio			20.2	10.9	220.18

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN (NTP 399.613-2005)

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (SIMPLE) Fecha: 16/06/2021  
% de incorporación de lodo: 40% de adición de lodo  
ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-01		2860.0	20.1	10.2	
			20.1	10.1	
			20.2	10.1	
			20.1	10.1	
Promedio			20.1	10.1	203.01

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-02		3983.0	19.8	10.6	
			20.0	10.5	
			19.9	10.5	
			20.0	10.4	
Promedio			19.9	10.5	208.95

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	A (cm)	Area de contacto cm2
E-03		3810.0	19.8	10.5	
			19.8	10.6	
			19.9	10.5	
			19.8	10.4	
Promedio			19.8	10.5	207.90

Observaciones:

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
 Br. CLENO CHURA HUAQUISTO	 Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	 Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL (PRISMAS)

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Husquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-01	67.59	6,892.15	20.8	11.4	35.5	
			20.9	11.4	35.4	
			20.8	11.5	35.5	
			20.8	11.4	35.5	
Promedio			20.8	11.4	35.5	237.12

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-02	64.65	6,592.36	20.8	11.3	34.2	
			20.9	11.4	34.3	
			20.9	11.3	34.1	
			20.9	11.4	34.2	
Promedio			20.9	11.4	34.2	238.26

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-03	70.7	7,209.28	20.7	11.4	35.0	
			20.8	11.4	35.2	
			20.9	11.3	35.1	
			20.7	11.2	35.2	
Promedio			20.8	11.3	35.1	235.04

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL (PRISMAS)

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

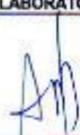
MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-01	69.25	7,061.42	20.5	11.4	35.0	
			20.6	11.5	35.1	
			20.6	11.5	35.0	
			20.5	11.5	35.0	
Promedio			20.5	11.5	35.0	235.75

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-02	73.52	7,496.83	20.8	11.3	35.0	
			20.9	11.4	35.1	
			28.7	11.5	35.0	
			20.8	11.4	34.9	
Promedio			22.8	11.4	35.0	259.92

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-03	70.13	7,151.16	20.9	11.4	34.8	
			20.8	11.4	35.0	
			20.9	11.5	35.0	
			20.9	11.5	34.9	
Promedio			20.9	11.5	34.9	240.35

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

## ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL (PRISMAS) Fecha: 16/06/2021

% de incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-01	77.06	7,857.81	20.4	11.4	35.7	
			20.4	11.5	35.7	
			20.4	11.5	35.6	
			20.4	11.4	35.7	
Promedio			20.4	11.5	35.7	234.6

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-02	89.73	7,110.37	20.3	11.1	35.8	
			20.3	11.2	35.8	
			20.4	11.1	35.7	
			20.3	11.1	35.8	
Promedio			20.3	11.1	35.8	225.33

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-03	64.38	6,564.83	20.5	11.3	35.6	
			20.5	11.4	35.7	
			20.5	11.3	35.7	
			20.5	11.2	35.7	
Promedio			20.5	11.3	35.7	231.65

Observaciones:

.....

.....

.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL (PRISMAS)

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-01	42.41	4,324.55	20.5	11.1	35.1	
			20.5	11.2	35.0	
			20.6	11	35.0	
			20.6	11.1	35.0	
Promedio			20.6	11.1	35.0	228.66

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-02	51.25	5,225.96	20.6	11.4	34.7	
			20.5	11.4	34.7	
			20.5	11.3	34.7	
			20.7	11.4	34.8	
Promedio			20.6	11.4	34.7	234.84

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-03	44.42	4,529.51	20.5	11.0	35.0	
			20.6	11.0	35.0	
			20.5	11.1	35.1	
			20.5	11.0	35.0	
Promedio			20.5	11.0	35.0	228.5

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS

Descripción: ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL (PRISMAS)

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-01	23.1	2,355.51	20.1	11.0	35.3	
			20.0	11.1	35.4	
			20.0	11.0	35.3	
			20.1	11.0	35.3	
Promedio			20.1	11.0	35.3	221.1

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-02	17.9	1,825.26	20.0	10.9	34.5	
			20.1	10.9	35.4	
			20.1	10.9	34.5	
			20.1	10.8	34.4	
Promedio			20.1	10.9	34.7	219.09

MUESTRA	CARGA (KN)	CARGA (Kgf)	L (cm)	B (cm)	H(cm)	Area de contacto cm2
E-03	21.3	2,171.96	20.1	11.0	35.0	
			20.1	11.0	35.1	
			20.0	11.2	35.1	
			20.2	11.0	35.1	
Promedio			20.1	11.1	35.1	223.11

Observaciones:

.....  
.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
 Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	 Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	 Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)

Descripción: ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 0% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-1	103.0	10.8	6.7	18.0
		10.9	6.8	
		10.8	6.7	
		10.8	6.7	
Promedio		10.8	6.7	18.0

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-2	192.0	10.9	6.3	18.0
		10.9	6.4	
		10.9	6.4	
		11.0	6.2	
Promedio		10.9	6.3	18.0

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-3	157.0	10.9	6.2	18.0
		11.0	6.3	
		10.8	6.1	
		10.9	6.2	
Promedio		10.9	6.2	18.0

Observaciones:

.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas - Puno, 2021"

### ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)

Descripción: ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 5% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-1	259.0	10.9	6.2	18.0
		10.8	6.3	
		10.8	6.1	
		10.9	6.2	
<b>Promedio</b>		<b>10.9</b>	<b>6.2</b>	<b>18.0</b>
E-2	202.0	10.9	6.3	18.0
		11.0	6.3	
		10.9	6.4	
		10.9	6.4	
<b>Promedio</b>		<b>10.9</b>	<b>6.4</b>	<b>18.0</b>
E-3	379.0	11.0	6.3	18.0
		10.9	6.3	
		11.0	6.3	
		10.9	6.3	
<b>Promedio</b>		<b>11.0</b>	<b>6.3</b>	<b>18.0</b>

Observaciones:

.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)

Descripción: ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 10% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-01	308.0	10.7	6.7	18.0
		10.6	6.5	
		10.7	6.7	
		10.8	6.8	
<b>Promedio</b>		<b>10.7</b>	<b>6.7</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-02	168.0	10.8	6.5	18.0
		10.7	6.5	
		10.8	6.6	
		10.9	6.4	
<b>Promedio</b>		<b>10.8</b>	<b>6.5</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-03	141.0	10.8	6.1	18.0
		10.9	6.2	
		10.7	6.3	
		10.8	6.2	
<b>Promedio</b>		<b>10.8</b>	<b>6.2</b>	<b>18.0</b>

Observaciones:

.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

**ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)**

Descripción: ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 20% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

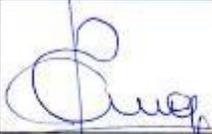
MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-01	90.0	10.9	6.6	18.0
		10.9	6.8	
		10.9	6.5	
		11.0	6.6	
<b>Promedio</b>		<b>10.9</b>	<b>6.6</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-02	132.0	10.7	6.5	18.0
		10.8	6.6	
		10.7	6.5	
		10.7	6.4	
<b>Promedio</b>		<b>10.7</b>	<b>6.5</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-03	210.0	10.9	5.9	18.0
		11.0	6.0	
		10.9	6.1	
		10.7	6.1	
<b>Promedio</b>		<b>10.9</b>	<b>6.0</b>	<b>18.0</b>

Observaciones:

.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS: "Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"

### ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN (NTP: 399.613)

Descripción: ENSAYO MÓDULO DE ROTURA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Fecha: 16/06/2021

% de Incorporación de lodo: 40% de adición de lodo

ID Laboratorio: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ensayado por: Br. Chura Huaquisto Clenio

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-01	40.0	10.6	6.5	18.0
		10.7	6.4	
		10.5	6.5	
		10.6	6.6	
<b>Promedio</b>		<b>10.6</b>	<b>6.5</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-02	49.0	10.5	6.1	18.0
		10.4	6.0	
		10.6	6.0	
		10.6	6.0	
<b>Promedio</b>		<b>10.5</b>	<b>6.0</b>	<b>18.0</b>

MUESTRA	Carga de rotura (Kgf)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Distancia entre apoyos (cm)
E-03	61.0	10.5	6.5	18.0
		10.6	6.4	
		10.5	6.4	
		10.5	6.3	
<b>Promedio</b>		<b>10.5</b>	<b>6.4</b>	<b>18.0</b>

Observaciones:

.....  
.....

TESISTA	RESPONSABLE DE LABORATORIO	ASESOR
		
Br. CLENIO CHURA HUAQUISTO	Ing. ALFREDO ALARCON ATAHUACHI	Mg. SAMIR AUGUSTO ARÉVALO VIDAL



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



## HUMEDAD NATURAL MTC E 108-2016

**PROYECTO** : INCORPORACIÓN DE LODO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ELABORACIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL MEJORANDO SUS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS – PUNO, 2021

**CANTERA** : LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR - PUNO

**MUESTRA** : LODO DE AGUAS RESIDUALES

**SOLICITANTE** : TESISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO

**TECN. RESPONS.** PERSONAL DE LABOR.

**ING. RESPONS.** : ALFREDO ALARCON A.

**FECHA** : 11/06/2021

	DESCRIPCION	1			PROM.
1	AGREGADO HUMEDO + RECIPIENTE	562.00			
2	AGREGADO SECO + RECIPIENTE	496.00			
3	PESO RECIPIENTE	0.00			
4	PESO DE AGUA	66.00			
5	PESO DE AGREGADO SECO	496.00			
6	CONTENIDO DE HUMEDAD %	13.30			

GEOTECNIA PUNO EIRL.  
Departamento de Pavimentos, Mantenimiento y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



PROYECTO : INCORPORACIÓN DE LODO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ELABORACIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL MEJORANDO SUS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS - PUNO, 2021

CANTERA : LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR - PUNO

MUESTRA : LODO DE AGUAS RESIDUALES

SOLICITANTE : TESIS TA CHURA HUAQUISTO CLENIO

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABORATORIO

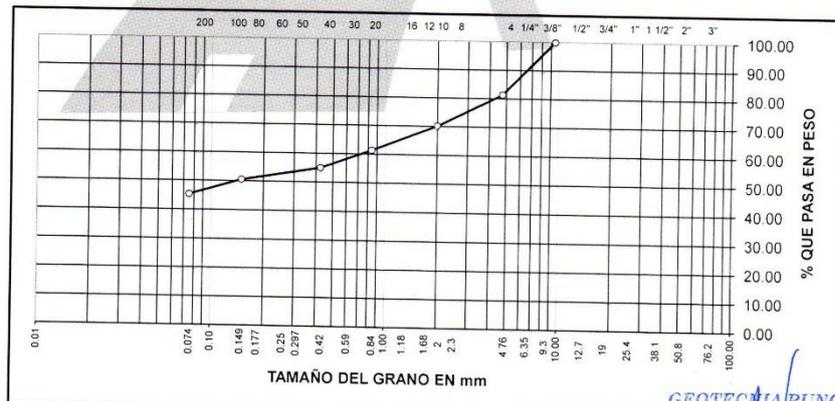
ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON A.

FECHA : 11/06/2021

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso inicial : 2326 Grs
2 1/2"	63.000						Peso fracción : Grs
2"	50.000						Grava : 18.57 %
1 1/2"	37.500						Arena : 36.11 %
1"	25.000						Fino : 45.32 %
3/4"	19.000						W natural : 13.30 %
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
No.04	4.750	432.00	18.57	18.57	81.43		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2.000	261.00	11.22	29.79	70.21		L L : 37.13 %
No.20	0.840	205.00	8.81	38.60	61.40		L P : 25.44 %
No.40	0.425	147.00	6.32	44.92	55.08		I P : 11.69 %
No.100	0.150	104.00	4.47	49.39	50.61		
No.200	0.075	123.00	5.29	54.68	45.32		CLASIFICACION
<No.200		1,054.00	45.31	100.0			SUCS : SC
							AASHTO : A-6(3)

### REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Cimentaciones y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

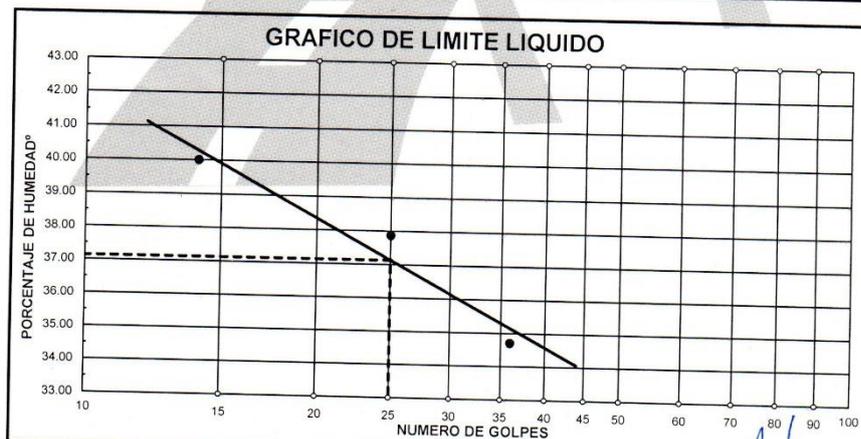
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



PROYECTO : INCORPORACIÓN DE LODO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ELABORACIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL MEJORANDO SUS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS - PUNO, 2021  
CANTERA : LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR - PUNO  
MUESTRA : LODO DE AGUAS RESIDUALES  
SOLICITANTE : TESISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO  
TECN. RESP.: PERSONAL LABORATORIO  
ING. RESP. : ALFREDO ALARCON A.  
FECHA : 11/06/21

## LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	No. DE GOLFES	25	30	60	100
01. No. DE GOLFES	36	25	14		
02. TARRO No.	67	68	69	66T	67T
03. SUELO HUMEDO * TARRO	g 36.44	36.05	37.58	29.81	28.83
04. SUELO SECO * TARRO	g 30.02	29.31	30.16	27.06	26.25
05. PESO DEL AGUA	g 6.42	6.74	7.42	2.75	2.58
06. PESO DEL TARRO	g 11.52	11.51	11.61	16.12	16.23
07. PESO DEL SUELO SECO	g 18.50	17.80	18.55	10.94	10.02
08. HUMEDAD	% 34.70	37.87	40.00	25.14	25.75
L.L.=	37.13 %	L.P.=	25.44 %	I.P.=	11.69 %



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Obras de Infraestructura y Construcción  
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



PROYECTO : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO - PUNO, 2021

CANTERA : ARENA PARA MORTERO

TECN. RESPON. : PERSONAL LABOR.

MUESTRA : AGREGADO FINO ZARANDEADO

ING. RESPON. : ALFREDO ALARCON A.

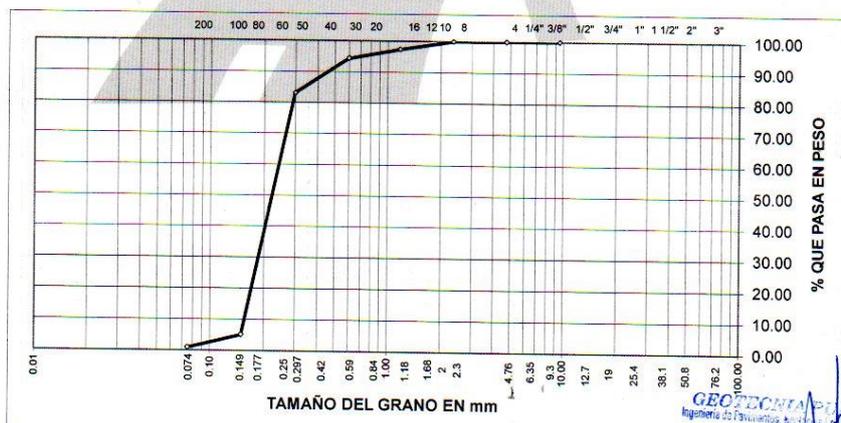
UBICACIÓN : OBRA

FECHA : 10/06/2021

## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						
2 1/2"	63.000						Peso inicial : 672 gr
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA
1"	25.000						Módulo de fineza :
3/4"	19.000						Peso específico : g/cm <sup>3</sup>
1/2"	12.500						Peso Unit. Suelto : tn/m <sup>3</sup>
3/8"	9.500				100.00		Peso Unit. Vanillado : tn/m <sup>3</sup>
1/4"	6.300				100.00		Humedad Natural : 1.520 %
No.04	4.750				100.00		Absorción : %
No.08	2.360				100.00		
No.16	1.180	18.00	2.68	2.68	97.32		
No.30	0.600	20.00	2.98	5.66	94.34		
No.50	0.300	76.00	11.31	16.97	83.03		
No.100	0.150	524.00	77.98	94.95	5.05		
No.200	0.075	28.00	4.17	99.12	0.88		
<No.200		6.00	0.88	100.00			
TOTAL		672.00	100.00	120.3			

### REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Asesoría y Consultoría

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 6172

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



**TESIS** : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021  
**MUESTRA** : LADRILLO ARTESANAL **TECN. RESPONS.** : PERSONAL LABORATORIO  
 MUESTRA PATRÓN **ING. RESPONS.** : ALFREDO ALARCON A.  
**TESISTA** : CHURA HUAQUISTO CLENIO **LUGAR** : PUNO  
**ASUNTO** : ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL **FECHA** : 15/06/2021

## VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LADRILLO (NORMA E-0.70 ALBAÑILERÍA, NTP 399.613, ITINTEC 331.019)

ANCHO= 10.80 cm  
 LARGO= 20.20 cm  
 ALTURA= 6.40 cm

### Variación dimensional

Muestra	Especímen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
		L1	L2	L3	L4	Lprom	M1	M2	M3	M4	Mprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
M-01 (0%)	E-01	203	204	203	202	203.0	108	108	108	108	108.0	66	66	68	68	67.0
	E-02	204	205	206	205	205.0	109	108	110	109	109.0	63	63	63	63	63.0
	E-03	206	207	208	207	207.0	108	110	108	110	109.0	62	62	62	62	62.0
M-02 (5%)	E-01	204	202	201	201	202.0	109	110	109	108	109.0	61	63	62	62	62.0
	E-02	202	202	200	200	201.0	108	110	109	109	109.0	63	64	64	65	64.0
	E-03	201	201	203	203	202.0	110	110	111	109	110.0	64	63	62	63	63.0
M-03 (10%)	E-01	199	200	199	198	199.0	106	108	107	107	107.0	66	67	68	67	67.0
	E-02	201	202	203	202	202.0	108	108	108	108	108.0	65	65	64	66	65.0
	E-03	200	202	203	203	202.0	109	107	109	107	108.0	61	62	63	62	62.0
M-04 (20%)	E-01	203	202	202	201	202.0	109	108	110	109	109.0	65	66	66	67	66.0
	E-02	204	203	203	202	203.0	107	108	107	106	107.0	65	66	65	64	65.0
	E-03	202	202	202	202	202.0	109	109	109	109	109.0	61	60	60	59	60.0
M-05 (40%)	E-01	201	202	200	201	201.0	100	102	102	100	101.0	66	65	65	64	65.0
	E-02	200	200	198	198	199.0	105	106	104	105	105.0	61	60	60	59	60.0
	E-03	198	198	199	197	198.0	106	105	104	105	105.0	63	64	64	65	64.0

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
 alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



TESIS : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021

MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL  
MUESTRA PATRÓN

TESISTA : CHURA HUAQUISTO CLENIO

ASUNTO : ENSAYO DE ALABEO

TECN. RESPONS. : PERSONAL LABORATORIO

ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON A.

LUGAR : PUNO

FECHA : 26/06/2021

## ALABEO DE LADRILLO

(NORMA E-0.70 ALBAÑILERÍA, NTP 399.613, ITINTEC 331.019)

Muestra	Espécimen	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)		Cóncavidad (mm)		Convexidad (mm)	
		Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
M-01 (0%)	E-1			0.50	0.50	2.00	2.50		
	E-2			1.00	1.00	1.00	2.50		
	E-3	2.00	2.50			2.00	3.00		
M-02 (5%)	E-1			0.50	0.50	2.00	1.50		
	E-2			1.50	1.50	2.50	1.50		
	E-3			1.00	1.00	1.50	2.50		
M-03 (10%)	E-1			1.00	2.00	1.50	2.00		
	E-2			2.00	1.00	4.00	4.00		
	E-3	1.00	1.00					1.00	0.50
M-04 (20%)	E-1			1.00	1.00	1.50	2.50		
	E-2			1.50	1.50	3.50	4.00		
	E-3			1.00	1.00	2.00	1.50		
M-05 (40%)	E-1	1.00	1.00			4.00	3.50		
	E-2			1.50	1.50	2.50	1.50		
	E-3			1.00	1.50	3.00	3.50		

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Estructuras, Albañilería y Construcción

ALFREDO ALARCON HUAQUISTO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



TESIS : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODI  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO - PUNO, 2021  
MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL TECN. RESPONS.: PERSONAL LABORATORIO  
MUESTRA PATRÓN ING. RESPONS. : ALFREDO ALARCON A.  
TESISTA : CHURA HUAQUISTO CLENIO LUGAR : PUNO-PUNO-PUNO  
ASUNTO : ENSAYO DE ABSORCIÓN FECHA : 24/06/2021

## ABSORCIÓN DEL LADRILLO

(N.T.P. 399.613, ITINTEC 331.019)

Muestra	Espécimen	Ws Peso seco (gr)	Wa Peso saturado 24h (gr)	We 5h ebull.	Absorción %	Absorción Máxima %	Coef. Saturación %
M-01 (0%)	E-1	2,258.0	2,728.0	2,826.0	20.81%	25.16%	0.83
	E-2	2,264.0	2,734.0	2,831.0	20.76%	25.04%	0.83
	E-3	2,269.0	2,741.0	2,843.0	20.80%	25.30%	0.82
M-02 (5%)	E-1	2,230.0	2,691.0	2,791.0	20.67%	25.16%	0.82
	E-2	2,226.0	2,696.0	2,788.0	21.11%	25.25%	0.84
	E-3	2,241.0	2,689.0	2,784.0	19.99%	24.23%	0.83
M-03 (10%)	E-1	2,051.0	2,517.0	2,598.0	22.72%	26.67%	0.85
	E-2	2,056.0	2,523.0	2,601.0	22.71%	26.51%	0.86
	E-3	2,062.0	2,530.0	2,599.0	22.70%	26.04%	0.87
M-04 (20%)	E-1	1,949.0	2,455.0	2,508.0	25.96%	28.68%	0.91
	E-2	1,952.0	2,458.0	2,511.0	25.92%	28.64%	0.91
	E-3	1,955.0	2,461.0	2,512.0	25.88%	28.49%	0.91
M-05 (40%)	E-1	1,642.0	2,195.0	2,215.0	33.68%	34.90%	0.97
	E-2	1,644.0	2,198.0	2,209.0	33.70%	34.37%	0.98
	E-3	1,638.0	2,191.0	2,201.0	33.76%	34.37%	0.98

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Bases, Asfalto y Construcción

ALFREDO ALARCON TATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP: 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021  
MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL  
SOLICITANT : TESISISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO  
FECHA VACI : 16/06/2021

## DENSIDADES DE LADRILLO

Muestra	Espécimen	Peso seco (gr.)	peso sumergid	Peso canastilla	P2 Peso 3h evulli. (gr.)	P1 Peso saturado 24h (gr.)	V P1-P2 (cm3)	$\rho$ Pseco/V (gr/cm3)
M-01 (0%)	E-1	2,258.0	1,228.0	330.0	2,688.5	2,728.0	1,460.5	1.5
	E-2	2,264.0	1,232.0	330.0	2,698.2	2,734.0	1466.2	1.5
	E-3	2,269.0	1,243.0	330.0	2,701.0	2,741.0	1458.0	1.6
M-02 (5%)	E-1	2,230.0	1,246.5	330.0	2,666.0	2,691.0	1419.5	1.6
	E-2	2,226.0	1,261.0	330.0	2,695.0	2,696.0	1434.0	1.6
	E-3	2,241.0	1,253.0	330.0	2,681.0	2,689.0	1428.0	1.6
M-03 (10%)	E-1	2,051.0	1,145.5	330.0	2,542.5	2,517.0	1397.0	1.5
	E-2	2,056.0	1,132.0	330.0	2,544.0	2,523.0	1412.0	1.5
	E-3	2,062.0	1,151.0	330.0	2,551.0	2,530.0	1400.0	1.5
M-04 (20%)	E-1	1,949.0	1,080.0	330.0	2,524.0	2,455.0	1444.0	1.3
	E-2	1,952.0	1,065.0	330.0	2,498.0	2,458.0	1433.0	1.4
	E-3	1,955.0	1,052.0	330.0	2,503.0	2,461.0	1451.0	1.3
M-05 (40%)	E-1	1,642.0	886.0	330.0	2,198.0	2,195.0	1312.0	1.3
	E-2	1,644.0	872.0	330.0	2,182.0	2,198.0	1310.0	1.3
	E-3	1,638.0	868.0	330.0	2,176.0	2,191.0	1308.0	1.3

GEOTECNIA PUNO EIRL.  
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Asesoría

ALFREDO ALARCÓN HUAQUISTO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021  
MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL  
SOLICITANT : TESISISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO  
FECHA VACI : 16/06/2021

## SUCCION DE LADRILLO

Muestra	Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso Mojado (gr)	Succión (gr/(200c m <sup>2</sup> -mín)
M-01 (0%)	E-1	20.50	10.90	6.50	223.45	2,263.00	2,309.00	41.17
	E-2	20.60	10.90	6.00	224.54	2,270.00	2,331.00	54.33
	E-3	20.50	10.90	6.40	223.45	2,265.00	2,318.00	47.44
M-02 (5%)	E-1	20.50	11.20	6.20	229.60	2,234.00	2,283.00	42.68
	E-2	20.20	11.10	6.40	224.22	2,245.00	2,295.00	44.60
	E-3	20.40	11.10	6.30	226.44	2,227.50	2,277.00	43.72
M-03 (10%)	E-1	20.40	11.00	6.70	224.40	2,132.00	2,195.00	56.15
	E-2	20.20	11.10	6.50	224.22	2,053.00	2,137.00	74.93
	E-3	20.20	11.00	6.20	222.20	2,138.00	2,189.50	46.35
M-04 (20%)	E-1	20.50	11.20	6.60	229.60	1,945.00	2,036.00	79.27
	E-2	20.40	11.00	6.50	224.40	2,004.00	2,070.00	58.82
	E-3	20.40	11.10	6.00	226.44	1,939.50	2,030.00	79.93
M-05 (40%)	E-1	20.10	10.90	6.50	219.09	1,627.00	1,774.00	134.19
	E-2	19.80	10.70	6.00	211.86	1,689.00	1,805.00	109.51
	E-3	20.00	10.60	6.40	212.00	1,622.50	1,768.50	137.74

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.  
Ingeniería de Pavimentos, Mecánica de Suelos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021

MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL

SOLICITANT : TESISISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO

FECHA VACI : 16/06/2021

## RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL (SIMPLE)

Muestra	Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Area (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f <sub>b</sub> (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
M-01 (0%)	E-1	20.3	10.8	6.7	219.24	14,236.00	64.93	6.37
	E-2	20.5	10.9	6.3	223.45	12,406.00	55.52	5.45
	E-3	20.7	10.9	6.2	225.63	13,696.00	60.70	5.95
M-02 (5%)	E-1	20.20	10.90	6.20	220.18	12,333.00	56.01	5.49
	E-2	20.10	10.90	6.40	219.09	12,053.00	55.01	5.40
	E-3	20.20	11.00	6.30	222.20	13,832.00	62.25	6.11
M-03 (10%)	E-1	19.9	10.7	6.7	212.93	13,605.00	63.89	6.27
	E-2	20.2	10.8	6.5	218.16	12,437.00	57.01	5.59
	E-3	20.2	10.8	6.2	218.16	12,539.00	57.48	5.64
M-04 (20%)	E-1	20.2	10.9	6.6	220.18	8,326.00	37.81	3.71
	E-2	20.3	10.7	6.5	217.21	7,820.00	36.00	3.53
	E-3	20.2	10.9	6	220.18	6,660.00	30.25	2.97
M-05 (40%)	E-1	20.10	10.10	6.50	203.01	2,860.00	14.09	1.38
	E-2	19.90	10.50	6.00	208.95	3,983.00	19.06	1.87
	E-3	19.80	10.50	6.40	207.90	3,810.00	18.33	1.80

GEOTECNIA PUNO EIRL.  
Ingeniería de Pavimentos, Resacas, Puentes y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021

MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL

SOLICITANT : TESISISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO

FECHA VACI : 16/06/2021

## RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL PRISMAS

Muestra	Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	Area BxL (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc. $\Delta$	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. i	Resist. Caract. fm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. fm (Mpa)
M-01 (0%)	E-1	11.4	20.8	35.5	237.12	6,892.50	3.11	0.915	29.07	26.58	1.10	29.24	2.87
	E-2	11.4	20.9	34.2	238.26	6,592.50	3.00	0.910	27.67	25.18	1.10	27.70	2.72
	E-3	11.3	20.8	35.1	235.04	7,936.50	3.11	0.914	33.77	30.87	1.10	33.96	3.33
M-02 (5%)	E-1	11.5	20.5	35.0	235.75	7,495.50	3.04	0.912	31.79	28.99	1.10	31.89	3.13
	E-2	11.4	22.8	35.0	259.92	7,425.00	3.07	0.913	28.57	26.08	1.10	28.68	2.81
	E-3	11.5	20.9	34.9	240.35	8,488.50	3.03	0.911	35.32	32.19	1.10	35.41	3.47
M-03 (10%)	E-1	11.5	20.4	35.7	234.60	7,455.00	3.10	0.914	31.78	29.05	1.10	31.96	3.13
	E-2	11.1	20.3	35.8	225.33	8,163.00	3.23	0.919	36.23	33.29	1.10	36.62	3.59
	E-3	11.3	20.5	35.7	231.65	7,171.50	3.16	0.916	30.96	28.37	1.10	31.21	3.06
M-04 (20%)	E-1	11.1	20.6	35.0	228.66	4,005.00	3.15	0.916	17.52	16.05	1.10	17.65	1.73
	E-2	11.4	20.6	34.7	234.84	4,659.00	3.04	0.912	19.84	18.09	1.10	19.90	1.95
	E-3	11.0	20.5	35.0	225.50	4,038.00	3.18	0.917	17.91	16.43	1.10	18.07	1.77
M-05 (40%)	E-1	11.0	20.1	35.3	221.10	2,100.00	3.21	0.918	9.50	8.72	1.10	9.59	0.94
	E-2	10.9	20.1	34.7	219.09	1,936.50	3.18	0.917	8.84	8.11	1.10	8.92	0.87
	E-3	11.1	20.1	35.1	223.11	2,043.00	3.16	0.916	9.16	8.39	1.10	9.23	0.91

GEOTECNIA PUNO SRL.  
Ingeniería de Pavimentos, Suelos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCON TIAHUACHI  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL LADRILLO ARTESANAL INCORPORANDO LODO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PUNO – PUNO, 2021

MUESTRA : LADRILLO ARTESANAL

SOLICITANT : TESISISTA CHURA HUAQUISTO CLENIO

FECHA VACI : 16/06/2021

## RESISTENCIA A LA TRACCION POR FLEXION

Muestra	Espécimen	Carga de rotura (kg-f)	Distancia entre apoyos (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	f <sub>tb</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
M-01 (0%)	E-1	163.00	18.0	10.8	6.7	9.08
	E-2	192.00	18.0	10.9	6.3	11.98
	E-3	157.00	18.0	10.9	6.2	10.12
M-02 (5%)	E-1	259.00	18.0	10.9	6.2	16.69
	E-2	202.00	18.0	10.9	6.4	12.22
	E-3	229.00	18.0	11.0	6.3	14.16
M-03 (10%)	E-1	208.00	18.0	10.7	6.7	11.69
	E-2	168.00	18.0	10.8	6.5	9.94
	E-3	141.00	18.0	10.8	6.2	9.17
M-04 (20%)	E-1	90.00	18.0	10.9	6.6	5.12
	E-2	132.00	18.0	10.7	6.5	7.88
	E-3	110.00	18.0	10.9	6.0	7.57
M-05 (40%)	E-1	40.00	18.0	10.6	6.5	2.41
	E-2	49.00	18.0	10.5	6.0	3.50
	E-3	61.00	18.0	10.5	6.4	3.83

GEOTECNIA PUNO EIRL.  
Ingeniería de Pavimentos, Cimentaciones y Construcción

ALFREDO ALARCON HUAQUISTO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIR 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA  
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



**Metrotest**  
E.I.R.L.

**LABORATORIO DE METROLOGÍA**

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

**CFM-242-2021**

Pág. 1 de 3

<b>OBJETO DE PRUEBA:</b>	<b>MAQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETOS</b>		
<b>Rangos</b>	101972,0	kgf	
<b>Dirección de carga</b>	Ascendente		
<b>FABRICANTE</b>	PYS EQUIPOS		
<b>Modelo</b>	STYE-2000		
<b>Serie</b>	170251		
<b>Transductor (Modelo/Serie)</b>	NO INDICA		
<b>Capacidad</b>	1000 kN		
<b>Ubicación</b>	Lab. Fuerza de Metrotest E.I.R.L.		
<b>Codigo Identificacion</b>	NO INDICA		
<b>Norma utilizada</b>	ASTM E4; ISO 7500-1		
<b>Intervalo calibrado</b>	Escala (s)	101 972 kgf	
	De 10 000 a 100 000 kgf		
<b>Temperatura de prueba °C</b>	<b>Inicial</b>	19,9	<b>Final</b> 20,2
<b>Inspección general</b>	La prensa se encuentra en buen estado de funcionamiento		
<b>Solicitante</b>	GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.		
<b>Dirección</b>	JR. TIAHUANACO MZ. H LT. 17 RES. COLLASUYO I E (A ESPALDAS DEL CEMENTERIO LA CAPILLA ) PUNO - SAN ROMAN - JULIACA		
<b>Ciudad</b>	JULIACA		
<b>PATRON(ES) UTILIZADO(S)</b>	Tipo / Modelo	BOTELLA	
	Código	5Y46357	
	Certif. de calibr.	INF-LE 006-19A PUCP	
<b>Unidades de medida</b>	Sistema Internacional de Unidades (SI)		
<b>FECHA DE CALIBRACION</b>	2021-02-20		
<b>FECHA DE EMISION</b>	2021-02-20		
<b>FIRMAS AUTORIZADAS</b>			



Jefe de Metrología

Luiggi Asenjo G.



# Metrotest E.I.R.L.

## LABORATORIO DE METROLOGÍA

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CFM-242-2021

Pág. 2 de 3

Método de calibración : FUERZA INDICADA CONSTANTE

#### DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA : 1000,0 kN Resolución: 0,1 kN Dirección de la carga: Ascendente  
101972 kgf 10,0 kgf Factor de conversión: 0,00981 kN/kgf

Indicación de la máquina (F <sub>i</sub> )	Indicaciones del patrón (series de mediciones)						
			0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
%	kN	kgf	kN	kN	kN	kN	kN
10	100,00	10 197	99,7	100,2	No aplica	99,8	No aplica
20	200,00	20 394	199,8	200,2	No aplica	201,0	No aplica
30	300,00	30 592	300,5	300,0	No aplica	301,0	No aplica
40	400,00	40 789	400,9	401,5	No aplica	401,9	No aplica
50	500,00	50 986	501,0	501,6	No aplica	502,0	No aplica
60	600,00	61 183	601,0	601,8	No aplica	602,0	No aplica
70	700,00	71 380	701,5	702,0	No aplica	702,6	No aplica
80	800,00	81 578	801,9	802,0	No aplica	802,3	No aplica
Indicación después de carga			0,00	0,00	0,00	0,00	No aplica

ESCALA : 1000,00 kN Incertidumbre del patrón 0,086 %

Indicación de la máquina (F <sub>i</sub> )	Cálculo de errores relativos						Resolución
			Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Accesorios	
%	kN	kgf	q (%)	b (%)	v (%)	Acces. (%)	a (%)
10	100,00	10 197	0,10	0,50	No aplica	No aplica	0,10
20	200,00	20 394	-0,17	0,60	No aplica	No aplica	0,05
30	300,00	30 592	-0,17	0,33	No aplica	No aplica	0,03
40	400,00	40 789	-0,36	0,25	No aplica	No aplica	0,02
50	500,00	50 986	-0,31	0,20	No aplica	No aplica	0,02
60	600,00	61 183	-0,27	0,17	No aplica	No aplica	0,02
70	700,00	71 380	-0,29	0,16	No aplica	No aplica	0,01
80	800,00	81 578	-0,26	0,05	No aplica	No aplica	0,01
Error de cero fo (%)			0,000	0,000	0,000	No aplica	Err máx.(0) = 0,00

#### FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrologia  
Luíggí Asenjo G.





# Metrotest E.I.R.L.

## LABORATORIO DE METROLOGÍA

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CFM-242-2021

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE **MAQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETOS**  
Errores relativos máximos absolutos hallados

ESCALA	101972	kgf			
Error de exactitud		<b>-0,36 %</b>	Error de cero		0
Error de repetibilidad		<b>0,60 %</b>	Error por accesorio		0 %
Error de Reversibilidad	No aplica		Resolución		0,05 En el 20 %

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica:

**ESCALA 101 972 kgf Ascendente**

#### TRAZABILIDAD

METROTEST EIRL, asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados y certificados por la Pontificia Universidad Católica de Peru y la SNM INDECOPI.

#### OBSERVACIONES .

1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez .
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1).
3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).
4. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Los resultados contenido parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos .

#### FIRMAS AUTORIZADAS



Jefe de Metrología

Luiggi Asenjo G.



# Metrotest

E.  
I.  
R.  
L.

## LABORATORIO DE METROLOGÍA

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CFM-243-2021

Pág. 1 de 3

<b>OBJETO DE PRUEBA:</b>	MAQUINA DE ENSAYOS CBR - MARSHALL		
<b>Rangos</b>	5 000	kgf	
<b>Dirección de carga</b>	Ascendente		
<b>FABRICANTE</b>	METROTEST		
<b>Modelo</b>	MA-75		
<b>Serie</b>	160		
<b>Indicador Digital</b> (Modelo/Serie)	315-X6 / 0215478		
<b>Celda de Carga</b> (Modelo/Serie)	SG-ST / J160927921		
<b>Ubicación</b>	Lab. Fuerza de Metrotest E.I.R.L.		
<b>Codigo Identificacion</b>	NO INDICA		
<b>Norma utilizada</b>	ASTM E4 // ISO 7500-1		
<b>Intervalo calibrado</b>	Escala (s)	5 000	kgf
	De 500 a 4500 kgf		10% A 100%
<b>Temperatura de prueba</b> °C	Inicial	18,9	Final 18,5
<b>Inspección general</b>	La prensa se encuentra en buen estado de funcionamiento		
<b>Solicitante</b>	GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.		
<b>Dirección</b>	JR. TIAHUANACO MZ. H LT. 17 RES. COLLASUYO I E (A ESPALDAS DEL CEMENTERIO LA CAPILLA ) PUNO - SAN ROMAN - JULIACA		
<b>Ciudad</b>	JULIACA		
<b>PATRON(ES) UTILIZADO(S)</b>	Tipo / Modelo	CELDA "S"	
	No. serie	J10CC13261	
	Certif. de calibr.	INF-LE 006-19B	PUCP
<b>Unidades de medida</b>	Sistema Internacional de Unidades (SI)		
<b>FECHA DE CALIBRACION</b>	2021-02-20		
<b>FECHA DE EMISION</b>	2021-02-20		

#### FIRMAS AUTORIZADAS



Jefe de Metrologia  
Luiggi Asenjo G.



# Metrotest E.I.R.L.

## LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CFM-243-2021

Pág. 2 de 3

Método de calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE

### DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA: 049 kN Resolución: 0,001 kN Dirección de la carga: Ascendente  
5 000 kgf 0,1 kgf Factor de conversión: 0,00 98 kN/kgf

Indicación de la máquina (F <sub>i</sub> )			Indicaciones del patrón (series de mediciones)				
%	kN	kgf	0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
			kN	kN	kN	kN	kN
10	4,90	500	4,93	4,93	No aplica	4,94	No aplica
20	9,81	1 000	9,83	9,83	No aplica	9,85	No aplica
30	14,71	1 500	14,74	14,74	No aplica	14,74	No aplica
40	19,61	2 000	19,61	19,61	No aplica	19,62	No aplica
50	24,52	2 500	24,50	24,50	No aplica	24,49	No aplica
60	29,42	3 000	29,40	29,39	No aplica	29,39	No aplica
70	34,32	3 500	34,29	34,28	No aplica	34,28	No aplica
80	39,23	4 000	39,19	39,18	No aplica	39,18	No aplica
90	44,13	4 500	44,08	44,07	No aplica	44,06	No aplica
Indicación después de carga			0,00	0,00	0,00	0,00	No aplica

ESCALA: 049,03 kN Incertidumbre del patrón: ± 0,096 %

Indicación de la máquina (F <sub>i</sub> )			Cálculo de errores relativos				Resolución
%	kN	kgf	Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Accesorios	a (%)
			q (%)	b (%)	v (%)	Acces. (%)	
10	4,90	500	-0,66	0,20	No aplica	No aplica	0,02
20	9,81	1 000	-0,27	0,20	No aplica	No aplica	0,01
30	14,71	1 500	-0,20	0,00	No aplica	No aplica	0,01
40	19,61	2 000	0,00	0,03	No aplica	No aplica	0,01
50	24,52	2 500	0,09	0,04	No aplica	No aplica	0,00
60	29,42	3 000	0,09	0,03	No aplica	No aplica	0,00
70	34,32	3 500	0,10	0,03	No aplica	No aplica	0,00
80	39,23	4 000	0,12	0,03	No aplica	No aplica	0,00
90	44,13	4 500	0,13	0,04	No aplica	No aplica	0,00

Error de cero fo (%)	0,000	0,000	0,000	No aplica	Err máx.(0) = 0,00
----------------------	-------	-------	-------	-----------	--------------------

### FIRMAS AUTORIZADAS



Jefe de Metrología  
Luiggi Asenjo G.



# Metrotest<sup>E.I.R.L.</sup>

## LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CFM-243-2021

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE

MAQUINA DE ENSAYOS CBR - MARSHALL

Errores relativos máximos absolutos hallados

ESCALA	5 000	kgf			
Error de exactitud	-0,66	%	Error de cero	0	
Error de repetibilidad	0,20	%	Error por accesorio	0	%
Error de Reversibilidad	No aplica		Resolución	0,01	En el 20 %

De acuerdo con los datos anteriores y según las prescripciones de la norma técnica colombiana NTC - ISO 7500-1, la máquina de ensayos se clasifica:

ESCALA 5 000 kgf Ascendente

### TRAZABILIDAD

METROTEST E.I.R.L., asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados y certificados por la Pontificia Universidad Católica de Perú y la SNM INDECOPI

### OBSERVACIONES .

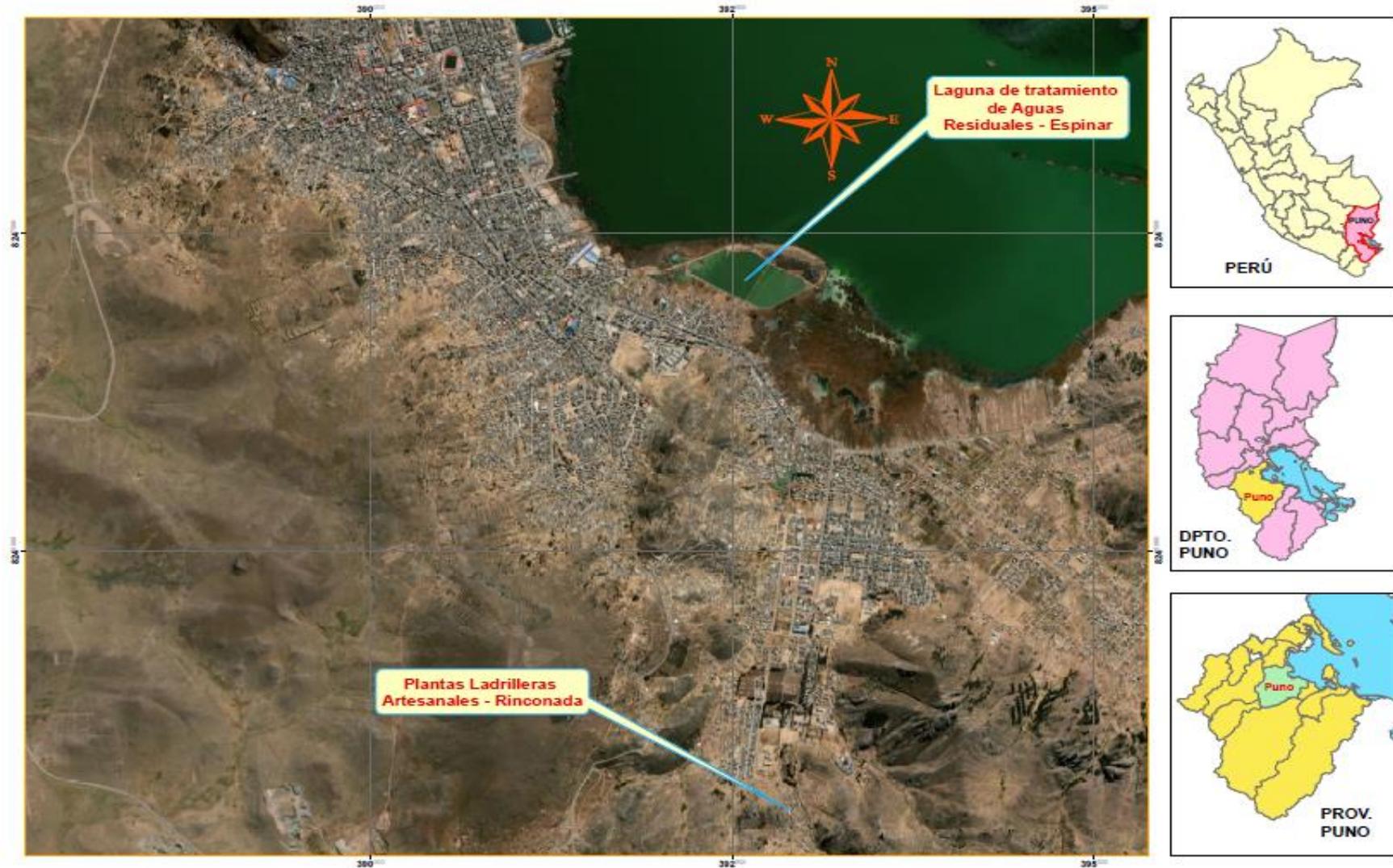
1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez .
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1).
3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).
4. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Los resultados contenidos parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos .

### FIRMAS AUTORIZADAS



Jefe de Metrología  
Luigi Azenjo G.

## ANEXO 4: Mapa de ubicación del proyecto de investigación



## ANEXO 5: Registro fotográfico



**Fotografía N 01:** extracción de lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales (laguna de oxidación Espinar – Puno)



**Fotografía N 02:** Ensayo del análisis granulométrico del lodo de aguas residuales en estado seco y para su posterior ensayo de plasticidad.



**Fotografía N 03:** Ensayo para determinar en limite liquido en la copa de Casagrande del lodo de aguas residuales.



**Fotografía N 04:** Dosificación de lodo en función al volumen de la mezcla en 5%, 10%, 20% y 40% (Centro poblado de Salcedo – la Rinconada– Puno)



**Fotografía N 05:** Mezclado para diferentes porcentajes de adición (0%, 5%, 10% 20% y 40%) de lodo de aguas residuales con la materia prima utilizada de cantera.



**Fotografía N 06:** Secado de los ladrillos artesanales, codificadas según el tipo de mezcla que corresponde al ladrillo, el secado con una duración de 15 días.



**Fotografía N 07:** Quemado de los ladrillos artesanales en hornos de la Rinconada – C.P. Salcedo - Puno.



**Fotografía N 08:** Vista desde la parte superior del horno artesanal durante el quemado de los ladrillos artesanales durante 8 Horas.



**Fotografía N 09:** Secado en estufa durante 24 horas de los ladrillos para pesar el peso seco para determinar la succión, absorción y densidad.



**Fotografía N 10:** Peso del ladrillo saturado en agua caliente durante 3h de ebullición para determinar la densidad, 5 horas de ebullición para determinar la absorción máxima



**Fotografía N 11:** Peso Sumergido del ladrillo, después de someter durante 3horas de ebullición para determinar la densidad.



**Fotografía N 12:** Refrendado de las caras donde se aplicará la fuerza tanto en las pilas de ladrillo y unidades solas.



**Fotografía N 13:** Ensayo a la resistencia a la tracción por flexión, colocado encima de dos fieros de 1/2 separados 18cm en la parte inferior y 1 varilla de acero en la parte superior.



**Fotografía N 14:** Ensayo de resistencia a la compresión axial, en unidades de albañilería



**Fotografía N 15:** Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial en pilas



**Fotografía N 16:** Pilas después del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial

## ANEXO 6: Pantallazo del Software Turnitin

Estudio de retroalimentación - Google Chrome  
ev.turnitin.com/app/carta/en\_us/?s=&o=1562646378&student\_user=1&u=1116775444&lang=en\_us

feedback studio Clenio Chura Huaquisto DPI-CHURA-2021-UCV

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
"Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021"  
**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniero Civil  
**AUTOR:**  
Br. Chura Huaquisto, Clenio (ORCID [0000-0002-0369-4197](#))  
**ASESOR:**  
Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID [0000-0002-6559-0334](#))  
**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Estructuras y Sismo

**Resumen del partido**  
**19%**

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	Sometido a Universida... Documento de estudiante	1%
5	Sometido a Universida... Documento de estudiante	1%
6	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.lamolina.ed... Fuente de Internet	1%
8	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%

Página: 1 de 100 | Número de palabras: 20309 | Informe de solo texto | Alta resolución



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Incorporación de Lodo de Aguas Residuales en la Elaboración del Ladrillo Artesanal Mejorando sus Propiedades Físico Mecánicas – Puno, 2021”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Br. Chura Huaquisto, Clenio (ORCID [0000-0002-0369-4197](https://orcid.org/0000-0002-0369-4197))

**ASESOR:**

Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID [0000-0002-6559-0334](https://orcid.org/0000-0002-6559-0334))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA-PERÚ

2021

## I. INTRODUCCIÓN

A la resistencia mecánica se debe enfocar desde lo normativo, económico, social y ambiental; con procesos de producción más eficientes e innovadores utilizando en menor cantidad la materia prima y diversificando la oferta existente EELA (2017).

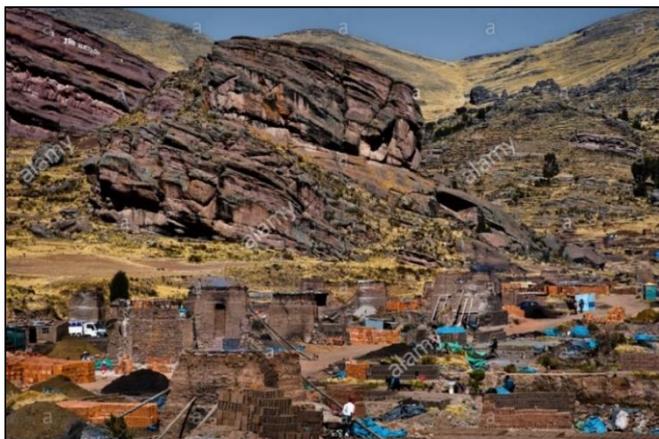
Los ladrillos artesanales producidos de manera empírica, desordenada y sin conocimiento del material que se emplea en su producción, tienen resistencia mecánica, densidad, homogeneidad y peso inadecuado (PRAL-PRODUCE, 2009).

En el ámbito de estudio que es la ciudad de Puno se ha visto que a raíz del crecimiento acelerado de la población en la ciudad Puno 1.9% (INEI 2007), la necesidad de contar con una vivienda propia y sumando la deficiente situación económica recurren al autoconstrucción de sus viviendas utilizando materiales de bajo costo como es el ladrillo artesanal sólido. Donde **los ladrillos artesanales sólidos no cumplen con lo recomendado en la Norma E.070 en sus propiedades físicas, mecánicas y características**. Entre las diferentes causas que pueden estar originando esto son; los precarios procedimientos durante el proceso de fabricación, empleo de mano de obra no calificada, dosificación de la materia prima en forma tradicional con un control de calidad casi nulo reflejándose esto en la falta de innovación de nuevo materias primas y la informalidad que hay en la fabricación lo que dificulta para el control del producto acabado comparando con la E.070 (Figura 1). Los efectos que pueden traer este problema son varios como: los bajos valores en sus propiedades físico mecánicas y características deficientes en el producto terminado del ladrillo artesanal sólido y por ende el riesgo que no pueda cumplir con las exigencias de servicio en las construcciones donde se empleó este material (Figura 2).

Es por esto que la presente investigación pretende mejorar las propiedades físicas, mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido en la ciudad de Puno, a través de la incorporación de lodo en la mezcla para la elaboración del ladrillo, creando así un nuevo tipo de ladrillo ecológico que cumpla con lo recomendado en la Norma E.070 de albañilería.

## Figura 1

*Pantas ladrilleras artesanales la Rinconada – Salcedo - Puno*



Fuente: <https://www.alamy.es/imagenes/quema-de-ladrillos.html>

## Figura 2

*Disgregación de partículas de ladrillo artesanal en Av. Simón Bolívar - Puno*



Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la **variable independiente**, se define al lodo de aguas residuales como el desecho que se origina por la descomposición de la materia en su estado líquido, sólido y/o semi sólido provenientes de las aguas servidas de los domicilios, contaminación atmosférica, entre otros residuos que presentan características y efectos similares a lo mencionado anteriormente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. En cuanto a la **variable dependiente**, se entiende por propiedades físico mecánicas como los valores mínimos o máximos que se deben de alcanzar en los diferentes ensayos normados por la Norma Técnica

Peruana, para de esa manera poder controlar la calidad de la unidad de albañilería terminada.

Analizando la realidad problemática de los deficientes valores que tienen los ladrillos artesanales sólidos en sus propiedades físicas mecánicas en la ciudad de Puno es indispensable la formulación del problema, es por este motivo se traza como **problema general**; ¿De qué manera la incorporación de lodo de aguas residuales mejorará las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; como problemas específicos; **la primera** ¿De qué manera la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; **la segunda** ¿En qué medida la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?; y **la tercera** ¿De qué manera la incorporación de lodo de aguas residuales mejorará las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021?

Continuando con el orden del esquema del desarrollo de la investigación se evidencia la justificación del problema desde tres puntos de vistas diferentes: el sustento desde el **punto de vista teórico**, es que busca comprobar mediante los ensayos de laboratorio si los ladrillos elaborados con adición de lodo cumplen con los requerimientos mínimos exigidos en la E.070 – albañilería, desde la **perspectiva práctica** se justifica por dar una nueva alternativa en la utilización del lodo como materia prima en la elaboración del ladrillo por consiguiente una solución a los problemas de sobreexplotación de la arcilla en las canteras para la producción de ladrillos ya que se reemplazará en porcentajes con lodo proveniente de PTAR en la ciudad de Puno, de esta manera se tendrá una nueva alternativa de material eco amigable para la construcción, en lo **ambiental** se justifica bajo la necesidad de eliminar el lodo de aguas residuales que se extrae de la laguna de oxidación y que este es depositado en el medio ambiente lugar donde no pertenece, finalmente, **en lo metodológico**, como la investigación es de tipo experimental, se pretende crear otro tipo de ladrillo diferente a lo establecido en la E.070, para lo cual se guiarán por el método científico donde se determinarán sus propiedades estructurales con ensayos de laboratorio.

Esta investigación se plantea como **objetivo general**; Analizar si la incorporación de lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; Como **objetivos específicos**; **la primera**, determinar si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; **la segunda**, determinar si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; y **la tercera**, definir si la incorporación de lodo de aguas residuales mejoran las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021.

Planteado ya los problemas y fijados los objetivos se formula las hipótesis, disponiendo como la **hipótesis general**; La incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021. Las **hipótesis específicas**; **La primera** La incorporación lodo de aguas residuales mejora las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021; **la segunda** La incorporación lodo de aguas residuales incrementa las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021. Y **la tercera**, la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Como antecedentes nacionales, tenemos a los siguientes:

Según Zapata (2020) en su tesis de grado titulado “*Adición de Lodo Orgánico de la Bahía el Ferrol en Ladrillos Macizos Artesanales de Arcilla para Mejorar sus Propiedades Físicas*” por la Universidad Nacional del Santa, siendo el **objetivo**: la fabricación de manera artesanal de ladrillos de arcilla incorporando lodo orgánico. Aplicando una **metodología** experimental aplicada. Para lo cual se elaboró ladrillos artesanales macizos con porcentajes de 10%, 20% y 30% de lodo orgánico, para así de esa manera encontrar el porcentaje óptimo con ayuda de ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas en laboratorio. Obteniendo como **resultados**, que la adición del 20% de lodo orgánico es la dosificación más óptima con resistencia a la compresión de 60.42 kg/cm<sup>2</sup>. finalmente, fijando la **conclusión** que se cumple con los parámetros mínimos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Seguidamente Chilón & Posadas (2018) en la tesis de grado titulado “*Reutilización de Lodos Generados en el Tratamiento de Aguas Ácidas para la Elaboración de Ladrillos Artesanales en una Empresa Minera de Cajamarca*” de la Universidad Nacional del Altiplano, donde tiene como **objetivo**: Elaboración de ladrillos artesanales utilizando como materia prima los lodos originados en la planta de tratamiento de Aguas Ácidas. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Realizó la caracterización físico-química del lodo, para luego fabricar ladrillos con dosificación 1 de lodo y agua; dosificación 2, 3, 4 y 5 de lodo + arcilla con porcentajes de vidrio triturado (8%, 10%, 15% y 20%) respectivamente y la dosificación 6 de lodo + cemento + arena, teniendo como **resultados**, la dosificación 6 tiene mejor comportamiento a la resistencia de compresión con 51.038 kg/cm<sup>2</sup>, superando al valor del ladrillo artesanal (39.15 kg/cm<sup>2</sup>) y por la NTP E.070 ladrillo Tipo I (50 kg/cm<sup>2</sup>); por otra parte las demás dosificaciones no cumplen con lo mínimo establecido por la NTP E.070 mucho menos con un ladrillo artesanal. Finalmente, fija como **conclusiones** que es viable el empleo de lodos originados en la planta de tratamiento de aguas ácidas económicamente y ambientalmente.

Después Espillico (2019) en la tesis de grado titulado “*Elaboración de Ladrillos a partir de Lodos Generados por Plantas de Tratamiento de Agua Potable y el Uso en la Construcción*” de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, donde tiene como **objetivo**: Elaborar ladrillos a partir de lodos generados por las unidades compactas de la PTAP y su posible uso en la construcción. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Donde se elaboraron trece unidades de ladrillo de 12x10x5.5 cm con una mezcla de clase textural franco arenosa y arcilla, adicionando 23.79, 30, 45, 60 y 66.21% de lodo. Donde estos ladrillos (tipos A, B y C) se sometieron a temperaturas de 658.58, 700, 800, 900 y 941.42 °C. teniendo como **resultados**, ladrillos macizos de color anaranjado rojizo, textura rugosa y peso promedio de 1217g., respecto a la resistencia a la compresión óptimo se tiene 54.16 kg/cm<sup>2</sup> para un nivel de temperatura de 941.42°C y una dosis de 45% de lodo, Finalmente, fija como **conclusiones** la alta cantidad de arena que posee el lodo dificulta la elaboración del ladrillo, es por eso que se realizó la mezcla de lodo – tierra negra.

También se tiene a Santos (2019) en la tesis de grado titulado “*Materiales de Construcción a Base de Lodos Residuales Provenientes del Proceso de Filtración en Industrias Cerveceras*” de la Universidad Nacional Agraria la Molina, donde tiene como **objetivo**: examinar la utilización de las tierras diatomeas proveniente del procedimiento de filtrado de cerveza en la elaboración de ladrillos. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Donde se fabricaron ladrillos utilizando las tierras diatomeas agotadas procedente de la filtración de cerveza con diferentes dosificaciones, teniendo como **resultados** que la unidad de albañilería que mejor comportamiento en la resistencia a la compresión que de 23.3 kg/cm<sup>2</sup>, alabeo de 0.37mm y variación dimensional de 4.01% está compuesto de la mezcla de bentonita, ceniza, diatomea agotada, cal y agua con porcentajes de 30%, 12%, 15%, 19% y 24% respectivamente. fijando como **conclusión** que este ladrillo tiene una clasificación de Tipo I, donde la característica principal es que tiene muy baja resistencia y durabilidad, cumpliendo solo con los requerimientos mínimos para las construcciones en condiciones mínimas de servicio.

Y por último Huillcaya & Vidal (2018) en el artículo científico titulado “Influencia del Porcentaje Óptimo de Inclusión de Biosólidos de la PTAR San Jerónimo Cusco en las Propiedades Físico – Mecánicas de Ladrillos King Kong de 18 Huecos y Pilas de Albañilería según la NTP e.070” donde tiene como **objetivo**: definir la adición óptima de biosólido para mejorar las propiedades físico mecánicas en unidades de albañilería según la E.070. aplicando una **metodología** de diseño experimental, para la cual se fabricó ladrillos semi industriales y someter a ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a la compresión; teniendo como **resultados** que la resistencia a la compresión del ladrillo patrón fue de 97.81kg/cm<sup>2</sup> y del ladrillo con adición de lodo de 10% fue 115.85 hg/cm<sup>2</sup> el más alto, referente a la absorción se obtuvo para la adición de 0% y 10% se tiene 14% y 18% respectivamente habiendo un incremento en ambas propiedades. Fijando como **conclusión**, que el porcentaje óptimo de adición respecto al ladrillo patrón es de 10% donde se incrementó la resistencia a compresión del ladrillo en 18.04kg/cm<sup>2</sup>, fijando favorablemente la adición de lodo en los ladrillos.

Por otra parte, tenemos como antecedentes internacionales a los siguientes:

Según Peralta (2018) en la tesis de grado **titulado** “Elaboración de Ladrillos Cerámicos Utilizando Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán en la Ciudad de Cuenca” de la Universidad de Cuenca, del modo que fijó el **objetivo**: La fabricación unidades de albañilería cerámicos con incorporación de lodos provenientes del tratamiento de agua potable. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Se elaboraron un total de 100 ladrillos con cinco tipos de mezclas de lodos aluminosos con dosificación que varía de 0 a 40% de donde 60 ladrillos se sometieron a 1000 °C para luego someter a ensayos un total de 16 ladrillos a resistencia a compresión y determinar la absorción de 20 ladrillos, teniendo como **resultado**, después de los ensayos, es que las unidades de albañilería mejor comportamiento tiene con la mezcla de 60:35:5 de acuerdo a la norma de ladrillos, finalmente, fija como **conclusiones**, que es viable adicionar lodos aluminosos en la fabricación de ladrillos, siendo favorable en beneficio económica y ambientalmente a la vez favorece en el ahorro de los recursos en la explotación de cantera y ayuda en el manejo de la disposición final del lodo.

Seguidamente se tiene Camargo & Yambay (2020) en la tesis de grado titulado “Elaboración de Ladrillos Artesanales Mediante el Aprovechamiento de Lodos Resultantes del Proceso de Depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe” de la Universidad Central del Ecuador fijó como **objetivos**: Fabricación de ladrillos artesanales con adición de lodo de PTAR-Q como elemento de uso en la industria de la construcción. Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Esta investigación está guiada por la NTE INEN 3049-5, donde se elaboraron ladrillos con adición de lodo en dos estados como es de 10%, 15% y 20% cuando el lodo está húmedo y 5%, 10%, 15% cuando el lodo está seco. Consiguiente a su fabricación se realizó los ensayos mínimos según la norma que son las propiedades mecánicas de compresión y absorción, obteniendo como **resultados**, que el ladrillo con mejor comportamiento a la resistencia a la compresión es el ladrillo con incorporación de 5% de lodo en su estado húmedo donde se evidenció el incremento en un 23% en relación a los ladrillos comunes teniendo como **conclusiones** que es viable la incorporación de lodo PTAR-Q en la fabricación de ladrillos artesanales.

También se tiene a Sarabia et ál. (2021), en el artículo científico titulado “Efecto del Uso de Lodo Residual de las Plantas de Tratamiento de Agua como un Sustituto Parcial de Arcilla en la Producción de Ladrillos Refractarios”, fijo como **objetivos**: Examinar la adición en diferentes porcentajes de lodo a los ladrillos refractarios de aluminosilicatos de arcilla, aplicando una **metodología** de diseño experimental. Para la fabricación de los ladrillos se mezclaron con adición de diferentes porcentajes de lodo para luego coccionar a 1200 °C, donde las materias primas para la fabricación del ladrillo se caracterizan por DRX y FRX. Donde se realizaron ensayos en laboratorio evaluando contracción lineal, absorción, porosidad y resistencia a la compresión, obteniendo como **resultado**. Que al incrementar el punto de reblandecimiento de la arcilla se obtiene un ladrillo refractario con capacidad de resistir hasta 1430 °C de temperatura, esta modificación se obtiene con la incorporación de lodo de tratamiento de agua industrial en un 10% finalmente, fija como **conclusiones** que la adición de LPTAI hasta en un 10% en peso en mezclas de materiales arcillosos, da como resultado ladrillos refractarios de sílice con aluminios de bajo refractario, según la NTC 623.

Después se tiene a Fuentes et ál. (2017) en el Artículo Científico titulado “Biosolid treatment of domestic wastewater as additions in the manufacturing of ceramic bricks” fijó como **objetivos**: analizar las propiedades físico mecánicas de las unidades de albañilería para su empleo como material en las construcciones no estructurales. Aplicando una **metodología** de diseño experimental, elaborando 66 unidades de albañilería adicionando biosólidos en 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 30% sometiendo a estos ha ensayos en laboratorio para determinar la resistencia a la compresión y absorción (capilar, sumergida y ebullición). Teniendo como **resultado**. la resistencia a compresión del ladrillo patrón 29.8MPa es casi igual a los ladrillos con adición de biosólido seco 25.7MPa y del calcinado 28.5MPa superando al mínimo exigido por NTC-4205, propiedades mecánicas para 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 30% de biosólido la succión (0.47, 0,52; 0,50; 0,64; 0,48 y 0,50 gr/cm<sup>2</sup>/min), absorción sumergida (16.01, 16,75; 16,07; 16,23; 17,63 y 17,12%), absorción por ebullición (19.56, 19,96; 19,86; 19,75; 21,39 y 21,31%) Fija como **conclusiones**. La adición más óptima de biosólido es del 5%, 10% y 15%, las cuales superan en sus propiedades mecánicas al ladrillo patrón a la vez los valores mínimos dispuesto por la norma.

Y por último Erdogmus et ál. (2021) en el artículo científico titulado “Nuevos Materiales de Construcción Sintetizados a Partir de Lodos de Tratamiento de Agua y Residuos de Ladrillos de Arcilla Cocidos”, fijó como **objetivos**: evaluación de los lodos de depuradora en la construcción Aplicando una **metodología** de diseño experimental. Se han fabricado ladrillos mediante la cocción a 1000 °C durante 2 h, la mezcla de lodos de tratamiento de agua (WTS) y residuos de ladrillos de arcilla cocido (BW), con dosificaciones de WTS en 25, 40, 55, 70, 85 y 100% del peso total de la mezcla obteniendo como **resultados**, los ladrillos que contienen 70 - 85% de WTS tienen mejores resultados, mientras que los ladrillos que contienen hasta un 40% de residuos de WTS presentan una resistencia a la compresión superior al doble del límite mínimo. Finalmente, fija como **conclusiones** que hay una influencia de los lodos de plantas de tratamiento de aguas y el residuo de ladrillos en las propiedades del ladrillo, por lo tanto, el lodo de tratamiento de agua (WTS) se puede emplear en la elaboración delos ladrillos.

## 2.2. Bases teóricas

Las teorías son desarrolladas con relación al tema y considerando las variables y dimensiones.

Relacionado al **lodo de aguas residuales**, Díaz (2019) dice que es la materia que se origina durante el tratamiento de aguas residuales siendo estas con densidades diferentes ya sea en estado líquido, sólido y/o semisólido. Para tratar las aguas residuales existen diferentes tratamientos que se le puede hacer, pero condicionado por su origen de este si son domésticos o industriales, el nivel de contaminación, etc. Para ello se tiene tres tipos de tratamientos tales como primarios, secundarios o terciarios. (p. 22-23)

Por otra parte, se tiene a EPA (2013), define como el residuo que se genera después del proceso en las PTAR de origen de uso doméstico o industrial, y estos con un tratamiento adecuado dependiendo de su procedencia que puede contener organismos perjudiciales para la salud de la población, pueden ser utilizados en actividades como la agricultura, construcción, entre otros. (p.1)

### Tipos de lodos

- **Lodos Primarios:** Limón (2013), estos tipos de lodos son de origen orgánico o inorgánico, que durante este tratamiento primario consiste en la separación del líquido de las aguas servidas de las partículas sólidas, quedando estas partículas como sedimentos. (p. 10)
- **Lodos secundarios:** Limón (2013) estos lodos son generados principalmente por implementar un tratamiento biológico a los desechos solubles y están constituidos principalmente de materia orgánica.” (p.10)
- **Lodo químico:** Orozco (2014), estos lodos se originan por el tratamiento que se le da a los sólidos suspendidos en el líquido utilizando compuestos químicos. (p.302)

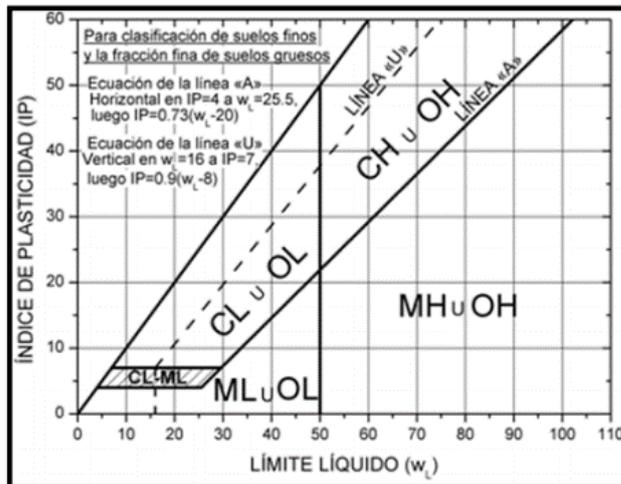
Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser la **plasticidad**; que según Badillo & Rodríguez (2005) se conceptúa a la plasticidad como la cualidad que posee un cuerpo de resistir deformaciones raudas sin presentar modificaciones en su volumen, sin rebote elástico, sin agrietamiento ni desmoronamiento. (p.127)

## Límites de Atterberg

Según Casteletti (2018), los límites de consistencia de los suelos cohesivos son índices importantes para su clasificación y por su relación con su comportamiento mecánico e hidráulico. Dependiendo estos del contenido de agua, tipo y contenido de arcilla. (p.81)

**Figura 3**

*Carta de plasticidad*

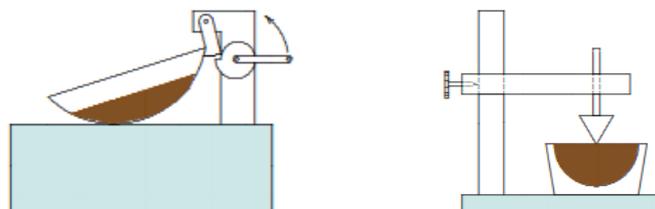


Fuente: ASTM D-2487-9

- **Límite líquido:** Braja (2012) define como el cambio o modificación del estado líquido al estado plástico de un suelo y se determina con la copa de casagrande; donde el ensayo consiste en aplicar 25 golpes a la copa de casagrande, donde el suelo con un determinado contenido de agua se cierre la ranura de 1/2 pulg (12.7 mm). (Prueba D-4318 de la ASTM) (p.15)

**Figura 4**

*Copa de casagrande*

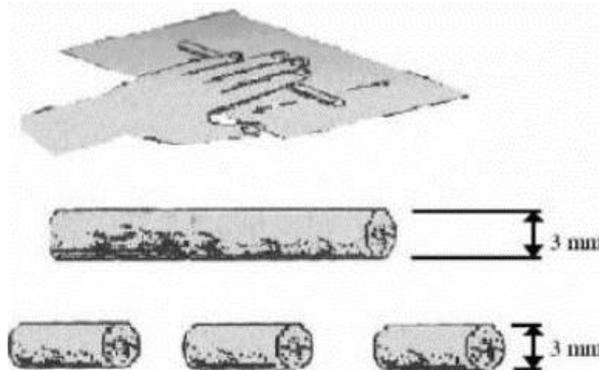


NOTA: Determinación del límite líquido utilizando la copa de Casagrande, Tomada de Verruijt (2011).

- **Límite plástico:** Braja (2012) explica cómo el cambio o modificación del estado plástico al estado semisólido de un suelo; donde el ensayo para determinar el límite plástico consiste en hacer rollitos del material de suelo con un determinado contenido de agua donde el diámetro del rollito es de 1/8 pulg (3.18 mm). (Prueba D-4319 de la ASTM) (p.15)

### Figura 5

*Determinación de límite plástico*



NOTA: Determinación del límite plástico, Tomada de Toirac (2008).

- **El índice de Plasticidad:** Braja (2012) se presenta cuando el suelo está en estado plástico para un determinado intervalo en el contenido de humedad y matemáticamente es el residuo entre el límite líquido y límite plástico. (p.50)

$$IP = LL - LP$$

Ec. 1

En seguida se considera el **diseño de mezcla**, que según Sánchez (1993), Consiste en dosificar o diseñar la mezcla, buscando cantidades relativas de cada material a utilizar en la composición de la mezcla, para de esa manera obtener un resultado eficiente y su empleo determinado. La cantidad y la manera como se aplican los materiales en la elaboración de la mezcla influyen en la variación de los resultados de sus propiedades de cada una de las mismas, es por ello es necesario contar con más de un método de dosificación. (p. 24)

Consideraciones para un diseño de una mezcla:

- Dosificación de la mezcla
- Comportamiento de mezcla
- Validación de la mezcla

Sobre las **propiedades físico mecánicas**, Gallegos & Casabonne (2005) define como las principales propiedades de la unidad de albañilería en su estado de fabricación terminada, y están relacionados directamente a la resistencia estructural y durabilidad. (p. 109).

Se entiende por propiedades físicas y mecánicas de la unidad de albañilería como los valores mínimos o máximos que se debe alcanzar en los diferentes ensayos normados por la Norma Técnica Peruana, para de esa manera poder controlar la calidad de la unidad de albañilería terminada.

Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser características como las **propiedades físicas**, que, según Gallegos y Casabonne (2005), son los principales atributos que tienen las unidades de albañilería en su estado de fabricación terminado.

Propiedades que influyen en la resistencia estructural son:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a tracción por flexión
- Variación de sus dimensiones
- Alabeos
- Succión

Por otra parte, tenemos a las propiedades que se asocian con su durabilidad como son:

- Resistencia a la compresión
- Absorción máxima
- Absorción
- Coeficiente de saturación

### **Clasificación para fines estructurales**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.070, Con fines de diseño estructural, las unidades de albañilería de diferentes tipos de fabricación deberán cumplir con las especificaciones indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'b mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		
	Ladrillo I	± 8	± 6		
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)

Fuente: NTP E.070

Ladrillo I. "Resistencia y durabilidad muy bajas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias de servicio sean mínimas. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo II. "Resistencia y durabilidad bajas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias de servicio sean moderadas. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo III. "Resistencia y durabilidad media". Se puede emplear en construcciones de albañilería en forma general. NTP 331.017 (1978)

Ladrillo IV. "Resistencia y durabilidad altas". El uso es limitado solo para construcciones donde las exigencias de servicio son rigurosas. NTP 331.017 (1978).

Ladrillo V. "Resistencia y durabilidad muy altas". Se puede emplear en construcciones de albañilería donde las exigencias son particularmente rigurosas. NTP 331.017 (1978)

Además, se tiene en la Norma Técnica Peruana publicada en 1978, ITINTEC 331.017, donde los ladrillos de arcilla se clasifican como indica la siguiente tabla.

**Tabla 2**

Requisitos obligatorios de los ladrillos de arcilla según la ITINTEC 331.017

Tipo	Absorción (máx. en %)	Coefficiente de saturación	Módulo de ruptura (daN/cm <sup>2</sup> )	Densidad (mínimo en gr/cm <sup>3</sup> )
I	Sin límite	Sin límite	6	1.50 – Sin límite
II	Sin límite	Sin límite	7	1.55 – 1.60
III	25	0.90	8	1.60
IV	22	0.88	9	1.65
V	22	0.88	10	1.70

Fuente: ITINTEC 331.017

En seguida se considera a las **propiedades mecánicas** que según (Phaiju & Pradhan (2018), para determinar las propiedades mecánicas; Se requieren determinar la resistencia a compresión, módulo de elasticidad, módulo de corte para analizar y diseñar las estructuras de mampostería. Dependiendo de la calidad de los materiales, tamaño, mano de obra de la construcción, estos valores tienen un amplio rango de adaptabilidad.

En seguida se considera la **resistencia a la compresión** que, según Gallegos y Casabonne (2005), es la principal propiedad del ladrillo donde los resultados altos en esta resistencia indican de la buena calidad del ladrillo en el uso con fines estructurales y de exposición, y para los resultados bajos de resistencia a la compresión todo lo inverso a lo indicado. Además, la resistencia a compresión no solo es atribuida a la masa, sino también a la altura y forma del ladrillo (pp. 111-113).

- **Resistencia a la compresión axial**

Se emplea la siguiente ecuación en la determinación de  $f_b$  cada unidad:

$$f_b = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$f_b$ : Resistencia a compresión de una unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{m\acute{a}x}$ : Carga máxima de compresión (kg)

A: Área total de la sección transversal (cara de asentado) (cm<sup>2</sup>)

En tanto para calcular  $f'_b$  se obtiene empleando la ecuación:

$$f'_b = f_{b \text{ prom.}} - \sigma \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

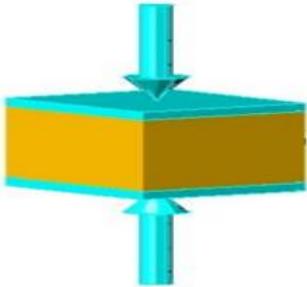
$f'_b$ : Resistencia a la compresión característica de la unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{m \text{ prom.}}$ : Resistencia a la compresión promedio de la unidad de albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Desviación estándar

### Figura 6

*Resistencia a la compresión axial*



Fuente: Tomada de (Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA, n.d.)

- **Resistencia a la compresión uniaxial**

Consiste en determinar la resistencia a compresión que puede soportar una pila de ladrillo empleando la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P_{\text{máx}}}{A} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$f_m$ : Resistencia a compresión uniaxial en pila (kg/cm<sup>2</sup>).

$P_{\text{máx}}$ : Carga máxima que resiste la pila (kg)

A: Área total transversal donde se aplica la fuerza (cm<sup>2</sup>)

Para corregir esta resistencia se utiliza la siguiente tabla 1, esto en función de su esbeltez de cada pila objeto de ensayo.

**Tabla 3**

*Factores de corrección según la norma E.070*

Factor de corrección de $f_m$ por esbeltez						
Esbeltez	2	2.5	3	4	4.5	5
factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1

Fuente: NORMA E.070.

Se calculará la resistencia característica con:

$$f'_m = f_{m \text{ prom. corregida}} - \sigma \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

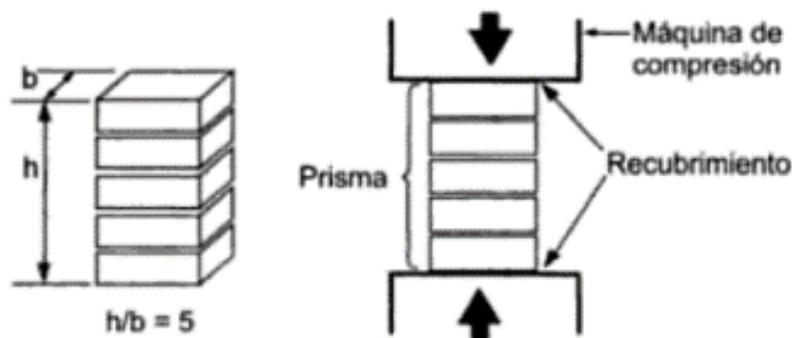
$f'_m$ : Resistencia a compresión axial característica de la pila ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$f_{m \text{ prom. corregida}}$ : Resistencia a compresión axial promedio corregida en pila ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma$ : Desviación estándar

**Figura 7**

*Resistencia a la compresión uniaxial en prisma*



Fuente: ASTM D-2487-9

La resistencia a la compresión axial se obtiene a través de la realización de pruebas mecánicas en las pilas, donde los resultados son indispensables para calcular el módulo de elasticidad donde éste es necesario para el diseño en albañilería. La norma E.070 “Albañilería” establece los valores mínimos de las resistencias características de la albañilería para diferentes tipos de ladrillos.

**Tabla 4***Resistencias características de la albañilería MPa (kg/cm<sup>2</sup>)*

<b>Materia</b>	<b>Clase</b>	<b>Unidad</b>	<b>Pilas</b>	<b>Muretes</b>
<b>Prima</b>		<b>f'<sub>b</sub></b>	<b>f'<sub>m</sub></b>	<b>v'<sub>m</sub></b>
	Clase I - Artesanal	4.9 (50)	3.4 (35)	0.50 (5.1)
	Clase II - Artesanal	6.9 (70)	3.9 (40)	0.55 (5.6)
Arcilla	Clase III - Artesanal	9.3 (95)	4.6 (47)	0.64 (6.5)
	Clase IV - Artesanal	12.7 (130)	6.4 (65)	0.79 (8.1)
	Clase V - Artesanal	17.6 (180)	8.3 (85)	0.90 (9.2)
Concreto	Industrial Portante	17.5 (178)	7.0 (71)	0.44 (4.5)
Sílice-Cal	Industrial Portante	12.6 (129)	10.1 (103)	0.93 (9.5)

Fuente: NTP E.070

**Módulo de elasticidad**

Unidades de arcilla:

$$E_m = 500 f'_m \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

f'<sub>m</sub>: Resistencia a compresión axial característica de la pila (kg/cm<sup>2</sup>).E<sub>m</sub>: Módulo de elasticidad de la unidad de albañilería

Esta variable a su vez está estructurada mediante sus dimensiones que en este caso resultan ser propiedades como **resistencia a la tracción**, según Fernández et ál. (2014) los ladrillos se comportan de manera similar al hormigón o la piedra. La resistencia a la flexión es muy baja en comparación con la resistencia a la compresión dependiendo principalmente de la fuerza de los granos minerales y la matriz que los une, Además, existe cierta dependencia de la composición química, las inclusiones y la cantidad y dimensiones de los poros. Porque la fuerza depende en gran medida de la zona más débil, la arcilla cruda homogénea con pocas impurezas proporciona una mayor resistencia a la tracción. (p.9)

Se calcula la resistencia a la tracción por flexión de cada unidad con la siguiente ecuación:

$$f'_{br} = \frac{3P_u l}{2bt_b^2} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

$P_u$ : Carga de rotura (kg/cm<sup>2</sup>).

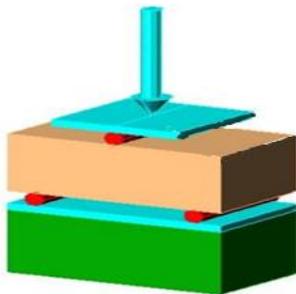
$l$ : Distancia entre los puntos de apoyo

$b$ : Ancho

$t_b$ : Altura

### Figura 8

*Resistencia a la tracción por flexión*



Fuente: Tomada de (Facultad de Ingeniería Civil de la UNSA, n.d.)

Y finalmente se considera a las **características del ladrillo** que según arkiplus (2021), “en las construcciones es conveniente y deseable el empleo de ladrillos de la mejor calidad, por lo que generalmente los bueno ladrillos tienen las siguientes características”

- **Peso:** En general, el peso por ladrillo debe ser de 6 lbs. y el peso unitario debe ser inferior a 125 lbs. por pie cúbico
- **Color:** naranja a rojo
- **Textura:** Deben poseer una textura fina, densa y uniforme. No deben poseer fisuras, cavidades, arena suelta y cal sin quemar.
- **Solidez:** Cuando se golpea con un martillo o con otro ladrillo, debe producir un sonido metálico.
- **Dureza:** Al raspar con los dedos no debe producir ninguna impresión en el ladrillo.

## Definición de términos

- **Absorción.** La capacidad que tiene un cuerpo para atrapar agua cuando alcanza un estado de saturación, mide la cantidad de agua que capta el ladrillo cuando este es sumergido durante 24 horas.
- **Aguas residuales.** Es el agua donde su calidad y color fueron afectadas de una manera negativa por acción del hombre, que pueden ser de origen doméstico, industrial, mineros, urbanas o la mezcla de los anteriores.
- **Albañilería.** material estructural construido en base a ladrillos y mortero.
- **Densidad.** Es la cuantificación del material sólido que se encuentra comprimido en un volumen determinado, es decir; la cantidad de masa por unidad de volumen.
- **Ladrillo.** Se considera al material de construcción elaborado a base de arcilla (cerámica), siendo esta sólida o con huecos y que es de fácil manipulación con una sola mano.
- **Ladrillo artesanal.** Ladrillo fabricado manualmente, donde el mezclado en ciertos casos se extruye a baja presión. El ladrillo se caracteriza por presentar variaciones de unidad a unidad.
- **Lodo.** suspensión de sólidos en un líquido o sedimentado en cuencas.
- **Mezcla.** Agregación de varias muestras puntuales tomadas por peso o volumen.
- **PTAR.** planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Resistencia estructural.** Manera en que un material aguanta esfuerzos externos como son compresión, tensión, incluso altas temperaturas.
- **Saturación.** Se refiere cuando todos los espacios vacíos del ladrillo están llenos de agua.
- **Succión.** Es la capacidad inicial que tiene el ladrillo de absorber el agua por capilaridad cuando esté en contacto con él, se mide en gramos de agua que absorbe por cada cm<sup>2</sup> de área de contacto durante un minuto.
- **Unidad de albañilería sólida.** Se refiere al ladrillo donde el área paralela a la sección donde se asienta es mayor al 70% del área total de esa sección.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Método

Según Arias (2012) opina que el método científico es la aplicación de las técnicas de una manera ordenada en la formulación de problemas de investigación y con ayuda de las pruebas de hipótesis resolver estos problemas planteados. (p. 19).

Se emplea el método científico, porque se llegará a una conclusión partiendo de una idea hipotética – deductiva, para ello se ha planteado que los ladrillos artesanales con incorporación de lodo de aguas residuales en diferentes porcentajes mejoran en sus propiedades físico mecánicas por consiguiente su utilización como unidad de albañilería alternativo en las edificaciones en la ciudad de Puno.

Según lo desarrollado en el párrafo anterior, en esta investigación se aplicó el método ***científico***.

##### 3.1.2. Tipo

Según Niño (2011) considera que el tipo aplicada, “está orientada a dar soluciones a los problemas prácticos, llevando a la práctica las teorías dentro de la aplicación de la ciencia”. (p.38)

Se busca una alternativa de solución a los bajos valores que tienen los ladrillos artesanales en sus propiedades físico mecánicas, reemplazando con un material como el lodo de aguas residuales en la mezcla de barro durante la elaboración de ladrillos artesanales sólidos de arcilla en la ciudad de Puno, para lo cual esta investigación pretende elaborar un nuevo material de construcción (ladrillo artesanal), donde a los ladrillos artesanales sólidos se incorporó porcentajes de lodo en 0%, 5%, 10%, 20% y 40%, donde en los ensayos de laboratorio se tiene una modificación en las propiedades físico mecánicas debido a la incorporación de lodo de aguas residuales.

De lo señalado en la teoría desarrollada líneas arriba, esta investigación se clasifica del tipo ***aplicada***.

### **3.1.3. Nivel**

Según Palella & Martins (2012), conceptúa que el nivel explicativo, se orienta a encontrar relaciones de causa efecto para de esa manera conocer con mayor exactitud las causas y señalar el origen de un conjunto de eventos complejos. (p.93)

Basándose en esta definición, la investigación es de nivel explicativo, porque la finalidad es explicar cómo afecta la incorporación de lodo proveniente de la PTAR en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal sólido.

Bajo esta consideración la presente investigación corresponde al nivel ***explicativo***.

### **3.1.4. Diseño**

Según Banea (2014), el diseño experimental consiste en manipular una variable no comprobada pero estrictamente controlada, para de esa manera medir el efecto que produce en otras variables esa condición en particular. (p.14)

En esta investigación se manipulan intencionalmente el lodo de aguas residuales, incorporando en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en la fabricación de ladrillos artesanales sólidas, como consecuencia de esto se modificará las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal.

Bajo este análisis la investigación corresponde al nivel ***experimental***.

## **3.2. Variables y operacionalización**

### **3.2.1. Variable 1: Lodo de aguas residuales**

#### **Definición Conceptual**

EPA (2013), define como el residuo que se genera después del proceso en las PTAR de origen de uso doméstico o industrial, y estos con un tratamiento adecuado dependiendo de su procedencia que puede contener organismos perjudiciales para la salud de la población, pueden ser utilizados en actividades como la agricultura, construcción, entre otros. (p.1)

#### **Definición operacional**

Mide la plasticidad y el porcentaje de incorporación de lodo de aguas residuales para el diseño de mezcla en la elaboración del ladrillo artesanal sólido.

### **3.2.2. Variable 2: Propiedades físico mecánicas del ladrillo**

#### **Definición Conceptual**

Ravi (2015), define como propiedades físico mecánicas a la resistencia a compresión, densidad, absorción, etc. de la unidad de ladrillo. Donde además de estos existen otros factores que tienen un rol muy sustancial en las estructuras de mampostería como son la unidad de albañilería y el mortero. (p. 9)

#### **Definición operacional**

Conjunto de ensayos de laboratorio que miden las propiedades físico mecánicas del ladrillo tales como son; propiedades físicas, propiedades mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido.

**Tabla 5**  
**Matriz de Operacionalización de variables**

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Lodo de aguas residuales	Los lodos son subproductos con diferentes densidades que pueden ser líquidos, sólidos o semisólidos, son generados al momento de tratar las aguas residuales para estos elementos existen tratamientos primarios, secundarios o terciarios según el origen de estos, si son domésticos o industriales y dependiendo el porcentaje de contaminación dentro de estos. (Díaz Granados, 2019)	Mide la plasticidad y el porcentaje de lodo proveniente de planta de tratamiento de aguas residuales para el diseño de mezcla para la elaboración del ladrillo artesanal sólido.	Plasticidad  Diseño de mezcla	I1: Límite plástico I2: Límite líquido I3: Índice de plasticidad  I1: Porcentaje de lodo I2: Granulometría	De razón
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Propiedades físico mecánicas	Se define como las principales propiedades de la unidad de albañilería en su estado de fabricación terminada, y están relacionados directamente a la resistencia estructural y durabilidad. (Gallegos & Casabonne, 2005)	Conjunto de ensayos de laboratorio que miden las propiedades físico mecánicas del ladrillo como son; propiedades físicas, mecánicas y características del ladrillo artesanal sólido.	Propiedades físicas  Propiedades mecánicas  Características del ladrillo	I1: Variación dimensional I2: Alabeo I3: Densidad I4: Absorción I5: Succión I1: Resistencia a la compresión axial I2: Resistencia a la compresión uniaxial I3: Resistencia a la Tracción I1. Peso I2: Color I3 Textura I4: Solidez I5. Dureza	De razón

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

Según Arias (2012), define como el conjunto de elementos que tienen características comunes y que la conclusión de la investigación es aplicable para todos estos elementos. La población está fijada por el problema y objetivo de la investigación. (p. 81)

En la presente investigación se consideró un total de 150 ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% divididas en cantidades iguales, las cuales se someterán a ensayos en laboratorio.

#### **3.3.2. Muestra**

Según Ñaupás et al. (2014), la muestra es el subconjunto, o parte de la población, seleccionado por diversos métodos, pero buscando la representatividad de la población, según las características del objeto del universo. (p.165)

En la presente investigación la muestra está conformado por 15 pilas de ladrillo con incorporación de lodo de aguas residuales en 0%, 5%, 10%, 20% y 40%, en partes iguales y 110 unidades de ladrillo artesanal sólidas con incorporación de lodo de PTAR en 0%, 5%, 10%, 20% y 40% en partes iguales.

#### **3.3.3. Muestreo**

Según Cabezas et al. (2018), el tipo de muestreo no probabilístico, se presenta cuando el investigador selecciona las muestras simplemente atendiendo por las razones de comodidad, es decir, para integrar la muestra se desconoce la probabilidad que tienen los elementos dentro de la población (p.100)

En la presente investigación se empleó el muestreo **no probabilístico**, porque no sigue el proceso aleatorio al azar y la muestra no es representativa de la población.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas.**

Según Bernal (2010), la observación directa, con el pasar del tiempo esta técnica tiene mayor credibilidad, siendo su uso de forma general debido a que permite tener

información directa y confiable mediante procedimientos sistemáticos muy controlados. (p.194)

La técnica empleada en el desarrollo de esta investigación es la **observación directa** que consiste en la recopilación de la información.

### 3.4.2. Instrumentos.

Según Rojas (2013), la ficha de recopilación de información consiste en la obtención de información, mediante el uso de guías de observación y entrevistas, en las que se concentra y resume la información que se obtiene de trabajo de campo o reconocimiento de la zona objeto de estudio. (p.107)

En la presente investigación se aplicó como instrumento la **ficha de recopilación de información**; cuyo diseño se muestra en el anexo 02.

### 3.4.3. Validez.

Para la presente investigación los instrumentos se validaron por el juicio de expertos, como refiere Escudero & Cortez (2017), que es el propósito de cumplir los estándares de rigor científico independientemente al enfoque que se le da cada investigación y con el fin de tener resultados más confiables. (p. 91)

Los instrumentos en la presente investigación están validados por **juicio de expertos**, donde los instrumentos fueron juzgados (Anexo 2). La calificación promedio se obtiene por el método de alfa de cronbach (Anexo 2) de los tres expertos, donde el promedio es 0.82 que interpreta como excelente validez a los instrumentos.

### Tabla 6

*Interpretación de la validez*

<b>Rango</b>	<b>Interpretación</b>
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.0	Validez perfecta

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7**

*Validez de los instrumentos de las variables: V1 Lodo de aguas residuales y V2 Propiedades físico mecánicas del ladrillo, por juicio de expertos*

N°	Grado académico	Nombres y Apellidos	DNI	Dictamen
1	Dr.	Germán Belizario Quispe	01295478	Instrs. Válidos
2	Mg.	Rogelio Noa Aliaga	01327588	Instrs. Válidos
3	Mg.	Alfredo Alarcón Atahuachi	01335859	Instrs. Válidos

Fuente: Elaboración Propia.

#### **3.4.4. Confiabilidad**

Como refiere Gallardo & Moreno (1999), donde señala que cuando los instrumentos tienen confiabilidad los resultados serán similares si se aplica a este mismo objeto. En resumen, hace referencia que la aplicación reiterada del instrumento a un determinado objeto, tiene que producir iguales resultados. (p. 47)

Para la presente investigación se contó con **instrumentos de recolección de datos** para los ensayos de laboratorio, los cuales fueron ejecutados con instrumentos calibrados.

#### **3.5. Procedimientos**

Una vez cumplido con la validación de los instrumentos y la determinación de su confiabilidad, el punto de partida será la recolección de la muestra de lodo de aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales - Espinar en Puno, para luego elaborar ladrillos en la planta ladrillera artesanal con incorporación de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo de aguas residuales, posteriormente mediante la observación directa se realizará los ensayos en laboratorio donde se determinará las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal con incorporación de lodo de aguas residuales como son: Propiedades físicas, propiedades mecánicas y características, donde, se aplicarán los instrumentos, recolectando la información en ficha de recopilación de información, cuyos datos se procesarán con el software Microsoft Excel y SPSS26 para luego interpretar sus resultados.

### 3.5.1. Estudios previos

#### 3.5.1.1. Estudios de campo

- **Estudios de exploración en la planta de tratamiento de aguas residuales (Laguna de oxidación Espinar – Puno)**

Se refiere al reconocimiento de la laguna de oxidación ubicada en coordenadas UTM E: 392,436.00 y N: 8'247,029.00 (Ver anexo 4) de donde se extrajo las muestras de lodo para incorporar en la fabricación de ladrillos artesanales en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 20% y 40% respecto al volumen total de cada mezcla.

#### **Figura 9**

*Extracción de lodo de aguas residuales en la laguna de oxidación de Espinar - Puno*



Fuente: Elaboración propia

- **Estudios de exploración de cantera de materia prima para la elaboración de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – Puno**

Se refiere al reconocimiento de la cantera de donde se extrajo la materia prima para la elaboración de ladrillos, ubicado en el centro Poblado de Salcedo – la Rinconada, Distrito de Puno específicamente en las coordenadas UTM E: 392,853.00 y N: 8'242,789.00 (Ver anexo 4) de donde

se extrajo para mezclar con el lodo en porcentajes de 100%, 95%, 90%, 80% y 60% respecto al volumen total de cada mezcla

### **Figura 10**

*Extracción de material de cantera en centro poblado de Salcedo - Puno*



Fuente: Elaboración propia

- **Elaboración de unidades de albañilería sólidas**

Consistió en el mezclado y la elaboración de unidades de albañilería sólidas artesanales con adición de lodo de aguas residuales en 0%, 5%, 10%, 20% y 40% respecto al volumen total de cada mezcla. Donde después del secado en lapso de 15 días se llevó al horno artesanal para la cocción, en hornos artesanales que existen en el centro poblado de Salcedo – la Rinconada.

**Figura 11**

*Elaboración de ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 12**

*Secado de los ladrillos con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*



Fuente: Elaboración propia

- **Elaboración de Prismas de ladrillo**

Se refiere a la elaboración prismas de ladrillo para cada tipo de mezcla 0%, 5%, 10%, 20% y 40% con adición de lodo de aguas residuales, adheridas con mortero de cemento y arena con dosificación de mortero de 1:4 (Ver anexo 3) y que este se sometió al secado durante el tiempo de 14 días, para posteriormente someter a cargas de fuerza.

**Figura 13**

*Elaboración de prismas de ladrillo con incorporación de lodo en diferentes porcentajes de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.2. Estudios de laboratorio

A la materia prima de cantera se realizaron los ensayos para determinar la plasticidad con los siguientes ensayos.

Límite líquido : MTC E-110

Límite plástico : MTC E-111

Índice de plasticidad

Se realizó el análisis de granulometría del lodo en estado seco (Anexo 3) donde la clasificación del lodo según SUCS: SC (arenas arcillosas mal gradadas) y la clasificación según AASHTO: A-6(3) (arcillas inorgánicas de plasticidad mediana).

Mientras que en los ensayos para determinar la plasticidad se obtuvo los resultados siguientes: Límite Líquido = 37.13%, Límite plástico = 25.44% y el índice de plasticidad = 11.69% (Anexo 3).

#### **Figura 14**

##### *Ensayo de granulometría del lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se realizó ensayos en laboratorio tanto en las unidades de albañilería (unidad) y las primas de ladrillo donde se determinarán las propiedades físicas y mecánicas (Anexo 3) empleando las siguientes Normas Técnicas Peruanas.

Variación dimensional	: NTP 399.604 y 399.613
Alabeo	: NTP 399.613
Densidad	: NTP 399.613
Absorción	: NTP 399.604 y 399.613
Succión	: NTP 399.613
Resistencia a la compresión axial	: NTP 399.604 y 399.613
Resistencia a la compresión uniaxial	: NTP 399.605
Resistencia a la tracción	: NTP 399.613

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para la realización del análisis de datos se tendrán las siguientes consideraciones.

- La estadística descriptiva e inferencial se realizó aplicando el Microsoft Excel, ANOVA y SPS.
- Los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo se realizaron en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L. con equipos e instrumentos calibrados (Ver anexo 3).

**OE1: Determinación que si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

**a. Actividades a realizar**

- 1 Recolección de muestra de lodo en la planta de tratamiento de aguas residuales – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 2 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).
- 3 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
- 4 El amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
- 5 La elaboración de ladrillos sólidos fue fabricada manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm. Para luego dejar a la exposición del sol y en la noche cubrir de las fuertes heladas, para que de esa manera tenga un secado uniforme, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
- 6 Una vez secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando dentro del horno para que enfríe durante 3 días (Ver anexo 5).

7 La realización de los ensayos se realizó en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L. siguiendo los protocolos citados en la presente investigación y recolectando los datos para su posterior análisis e interpretación (Ver anexo 3).

### 3.6.1.1. Variación dimensional

**Figura 15**

*Ensayo de en laboratorio de Variación dimensional*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	203	204	203	202	203.0	108	108	108	108	108.0	66	66	68	68	67.0
E-02	204	205	206	205	205.0	109	108	110	109	109.0	63	63	63	63	63.0
E-03	206	207	208	207	207.0	108	110	108	110	109.0	62	62	62	62	62.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	205.00				Prom	108.67				Prom	64.00
				$\sigma$	2.00				$\sigma$	0.58				$\sigma$	2.65
				$\delta$	3.00				$\delta$	0.76				$\delta$	1.35
				%V	1.43%				%V	0.69%				%V	1.99%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	204	202	201	201	202.0	109	110	109	108	109.0	61	63	62	62	62.0
E-02	202	202	200	200	201.0	108	110	109	109	109.0	63	64	64	65	64.0
E-03	201	201	203	203	202.0	110	110	111	109	110.0	64	63	62	63	63.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	201.67				Prom	109.33				Prom	63.00
				$\sigma$	0.58				$\sigma$	0.58				$\sigma$	1.00
				$\delta$	7.76				$\delta$	0.09				$\delta$	4.00
				%V	3.69%				%V	0.08%				%V	5.88%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	199	200	199	198	199.0	106	108	107	107	107.0	66	67	68	67	67.0
E-02	201	202	203	202	202.0	108	108	108	108	108.0	65	65	64	66	65.0
E-03	200	202	203	203	202.0	109	107	109	107	108.0	61	62	63	62	62.0
				Lo	210.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	201.00				Prom	107.67				Prom	64.67
				$\sigma$	1.73				$\sigma$	0.58				$\sigma$	2.52
				$\delta$	7.27				$\delta$	1.76				$\delta$	0.82
				%V	3.46%				%V	1.60%				%V	1.20%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11***Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	203	202	202	201	202.0	109	108	110	109	109.0	65	66	66	67	66.0
E-02	204	203	203	202	203.0	107	108	107	106	107.0	65	66	65	64	65.0
E-03	202	202	202	202	202.0	109	109	109	109	109.0	61	60	60	59	60.0
				Lo	220.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	202.33				Prom	108.33				Prom	63.67
				$\sigma$	0.58				$\sigma$	1.15				$\sigma$	3.21
				$\delta$	7.09				$\delta$	0.51				$\delta$	1.12
				%V	3.38%				%V	0.47%				%V	1.65%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12**

*Variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom.
E-01	201	202	200	201	201.0	100	102	102	100	101.0	66	65	65	64	65.0
E-02	200	200	198	198	199.0	105	106	104	105	105.0	61	60	60	59	60.0
E-03	198	198	199	197	198.0	106	105	104	105	105.0	63	64	64	65	64.0
				Lo	220.00				Lo	110.00				Lo	68.00
				Prom	199.33				Prom	103.67				Prom	63.00
				$\sigma$	1.53				$\sigma$	2.31				$\sigma$	2.65
				$\delta$	9.14				$\delta$	4.02				$\delta$	2.35
				%V	4.35%				%V	3.66%				%V	3.46%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13**

*Resumen de la variación dimensional del ladrillo artesanal sólido con incorporación en porcentajes de lodo de aguas residuales*

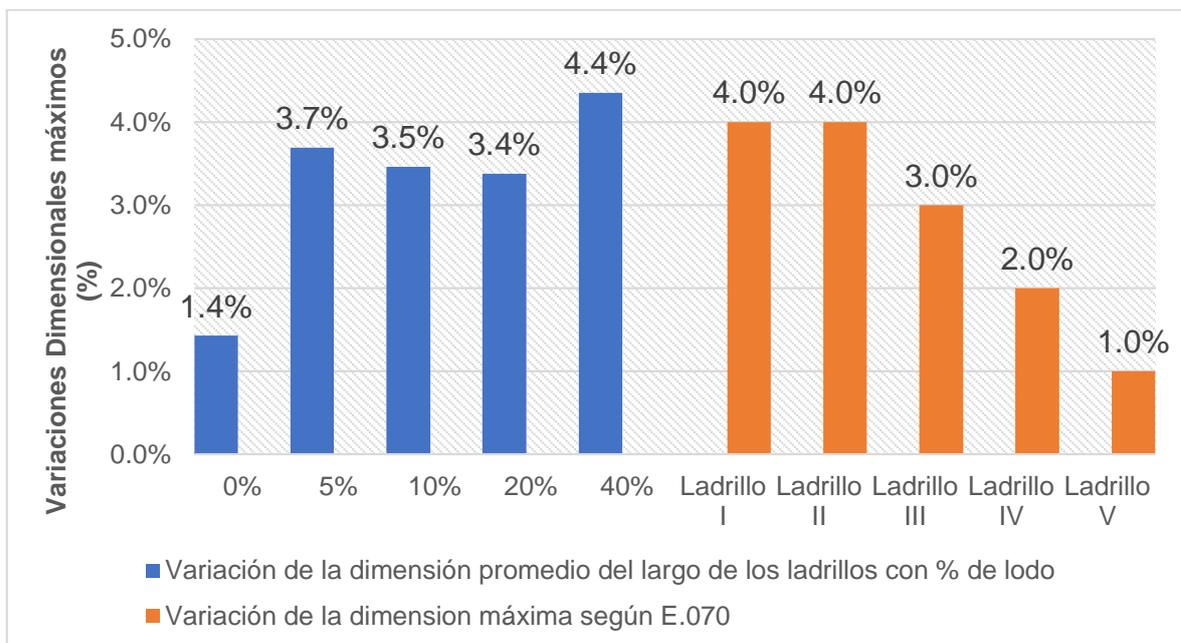
Muestra	% adición de lodo	Variación dimensional						Clasificación Según norma E.070
		L (%)	L (mm)	A (%)	A (mm)	H (%)	H (mm)	
M-01	0%	1.4	3.00	0.7	0.76	2.0	1.35	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	3.7	7.76	0.1	0.09	5.9	4.00	Ladrillo Tipo II
M-03	10%	3.5	7.27	1.6	1.76	1.2	0.82	Ladrillo Tipo II
M-04	20%	3.4	7.09	0.5	0.51	1.6	1.12	Ladrillo Tipo II
M-05	40%	4.4	9.14	3.7	4.02	3.5	2.35	Sin clasificación

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 nos muestra la variación dimensional que hay en largo, ancho y altura para cada ladrillo con incorporación de lodo en porcentajes diferentes, donde menor variación dimensional se presenta en el largo es el ladrillo con 0% de adición de lodo, y en los ladrillos que poseen adición de lodo se incrementa ligeramente. En relación a la variación del ancho el porcentaje de variación más bajo se presenta en la M-01 que tiene 5% de lodo mientras que el ladrillo que tiene 40% de lodo tiene mayor variación. Finalmente, en relación a la variación de la altura el menor porcentaje de variación se presenta en M-03 que contiene 10% de lodo mientras que la M-02 con 5% de lodo se presenta la variación más alta en relación a la altura.

**Figura 16**

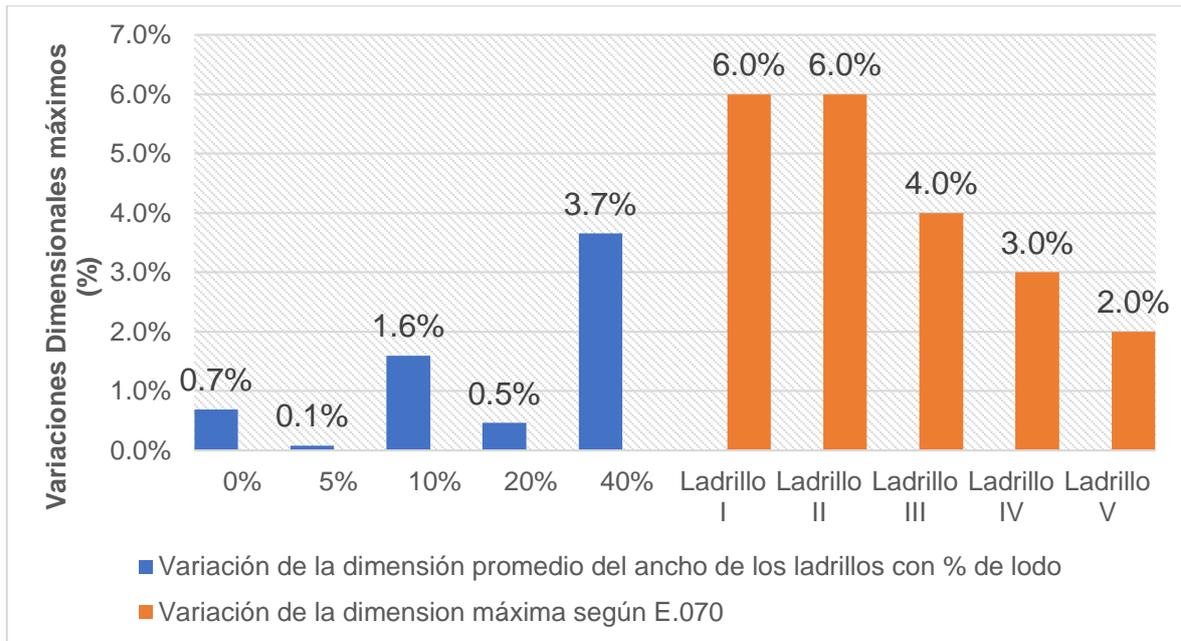
*Variación dimensional del largo en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 17**

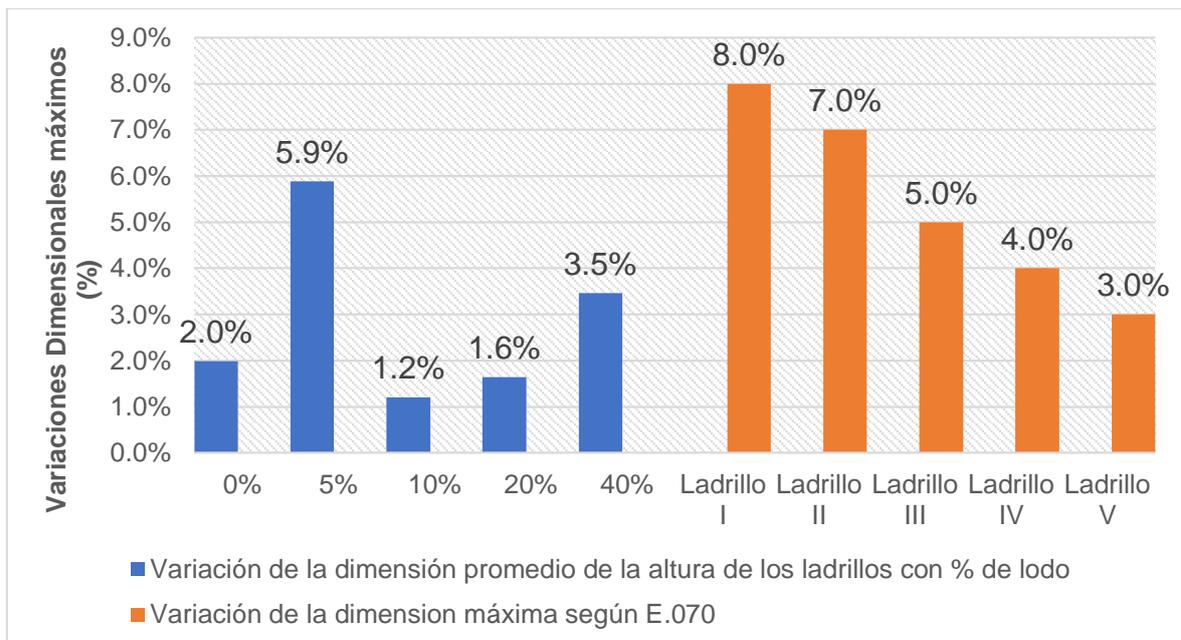
*Variación dimensional del ancho en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 18**

*Variación dimensional de la altura en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 16, 17 y 18, se muestran las variaciones del largo, ancho y altura para los diferentes ladrillos con adición de lodo y los valores máximos que establece la norma E 0.70, donde la variación para los ladrillos con adición de lodo en 0% se clasifican como Tipo IV, mientras que los ladrillos con 5%, 10% y 20% en el largo está al límite con los valores de clasificación del ladrillo Tipo II, Asimismo el ladrillo con adición de 40% no tiene clasificación puesto que supera el máximo valor para una clasificación de ladrillo de Tipo I. La variación de dimensiones en el ancho y altura no superan el valor máximo para una clasificación de ladrillo de Tipo I. Por el gráfico se puede apreciar que no hay una tendencia uniforme en la variación de sus dimensiones, por lo que en la variación de los ladrillos puede influir como la mano de obra, secado, etc. que afectan la variación de las dimensiones.

### 3.6.1.2. Alabeo

#### Figura 19

*Ensayo en laboratorio de Alabeo*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			0.50	0.50	2.00	2.50		
E-2			1.00	1.00	1.00	2.50		
E-3	2.00	2.50			2.00	3.00		
			Cóncavo		2.19			
			Convexo		0.75			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			0.50	0.50	2.00	1.50		
E-2			1.50	1.50	2.50	1.50		
E-3			1.00	1.00	1.50	2.50		
			Cóncavo		1.92			
			Convexo		1.00			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1	-	-	1.00	2.00	1.50	2.00	-	-
E-2	-	-	2.00	1.00	4.00	4.00	-	-
E-3	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	0.50
			Cóncavo		2.25			
			Convexo		1.25			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
E-1			1.00	1.00	1.50	2.50		
E-2			1.50	1.50	3.50	4.00		
E-3			1.00	1.00	2.00	1.50		
			Cóncavo		2.50			
			Convexo		1.17			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18**

*Alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Cara superior (A)				Cara inferior (B)			
	Concavidad (mm)		Convexidad (mm)		Concavidad (mm)		Convexidad (mm)	
	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02	Diag. 01	Diag. 02
	E-1	1.00	1.00	-	-	4.00	3.50	-
E-2	-	-	1.50	1.50	2.50	1.50	-	-
E-3	-	-	1.00	1.50	3.00	3.50	-	-
			Cóncavo		2.50			
			Convexo		1.38			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19**

*Resumen del alabeo del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

Muestra	% adición de lodo	Alabeo		Clasificación Según norma
		Concavidad	convexidad	
		mm	mm	
M-01	0%	2.19	0.75	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	1.92	1.00	Ladrillo Tipo V
M-03	10%	2.25	1.25	Ladrillo Tipo IV
M-04	20%	2.50	1.17	Ladrillo Tipo IV
M-05	40%	2.50	1.38	Ladrillo Tipo IV

Fuente: Elaboración propia

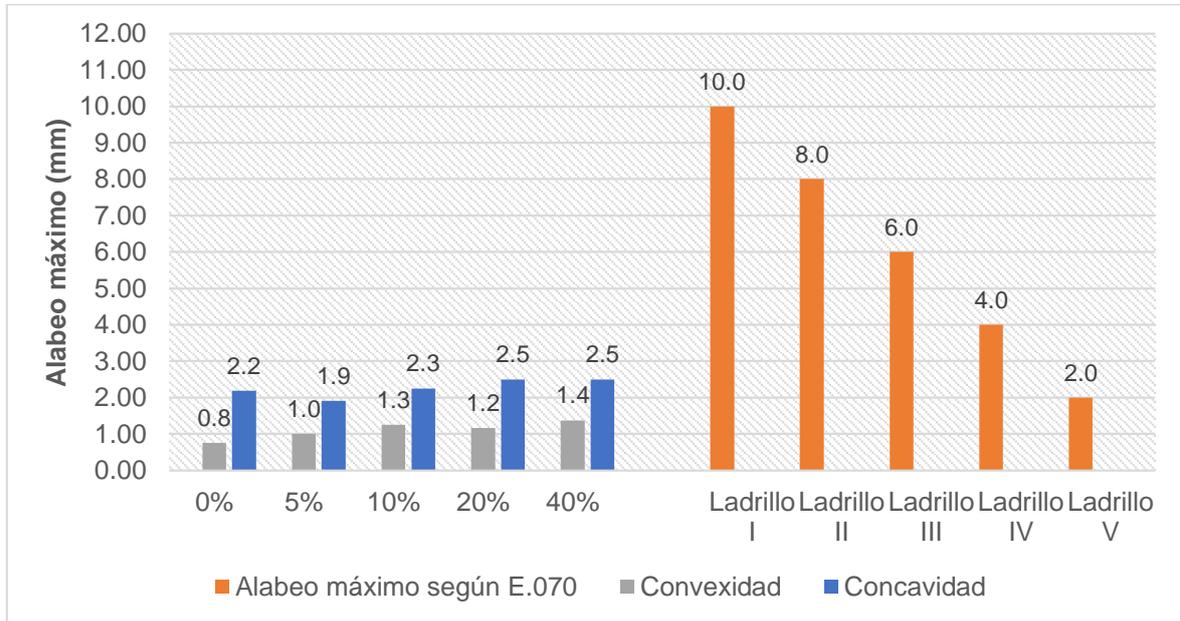
La Tabla 19 nos muestra el alabeo del ladrillo para diferentes porcentajes de adición de lodo y su clasificación, donde el mayor alabeo se presenta en el ladrillo con adición de lodo en 40% incrementándose respecto al ladrillo con 0% de adición de lodo tanto en la concavidad y convexidad en 14.2% y 84.0% respectivamente.

Cuando la junta de la albañilería sea menor, la resistencia que alcance la albañilería será mayor. De lo dicho como el ladrillo es de tipo IV podemos decir que la junta del mortero no necesita ser mayor a 12.5 mm para llegar al espesor máximo de la

junta de 1.5 cm recomendado por la norma E 0.70, con ello se puede garantizar que la resistencia de la albañilería sea de buena calidad.

**Figura 20**

*Variación de la concavidad y convexidad en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20 se observa la variación del alabeo de los diferentes ladrillos que tienen incorporado lodo en porcentajes diferentes, donde se puede apreciar que todos los ladrillos con 0%, 10%, 20% y 40% se clasifican como Tipo IV por no sobrepasar el máximo valor para este tipo de ladrillo, mientras que el ladrillo con 5% se clasifica como Tipo V. Además, se puede ver un incremento en el alabeo tanto en la convexidad y concavidad a medida que se incrementa el porcentaje de lodo, donde el alabeo en la concavidad está en el rango de 2 mm – 4 mm que clasifica al ladrillo del tipo IV, y respecto a la convexidad se encuentra entre 0 mm – 2 mm que clasifica al ladrillo de tipo V.

### 3.6.1.3. Densidad

**Figura 21**

*Ensayo de determinación de densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Peso seco (gr.)	P1 Peso saturado sumergido (gr.)	P2 Peso 3h ebullición (gr.)	V P2-P1 (cm3)	$\rho$ Pseco/V (gr/cm3)
E-1	2,258.00	1,228.00	2,688.50	1,460.50	1.55
E-2	2,264.00	1,232.00	2,698.20	1,466.20	1.54
E-3	2,269.00	1,243.00	2,701.00	1,458.00	1.56
				Promedio	1.55

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	2,230.00	1,246.50	2,666.00	1,419.50	1.57
E-2	2,226.00	1,261.00	2,695.00	1,434.00	1.55
E-3	2,241.00	1,253.00	2,681.00	1,428.00	1.57
				Promedio	1.56

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	2,051.00	1,145.50	2,542.50	1,397.00	1.47
E-2	2,056.00	1,132.00	2,544.00	1,412.00	1.46
E-3	2,062.00	1,151.00	2,551.00	1,400.00	1.47
				Promedio	1.47

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Peso seco (gr.)</b>	<b>P1 Peso saturado sumergido (gr.)</b>	<b>P2 Peso 3h ebullición (gr.)</b>	<b>V P2-P1 (cm3)</b>	<b><math>\rho</math> Pseco/V (gr/cm3)</b>
E-1	1,949.00	1,080.00	2,524.00	1,444.00	1.35
E-2	1,952.00	1,065.00	2,498.00	1,433.00	1.36
E-3	1,955.00	1,052.00	2,503.00	1,451.00	1.35
				Promedio	1.35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24**

*Densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Peso seco (gr.)	P1 Peso saturado sumergido (gr.)	P2 Peso 3h ebullición (gr.)	V P2-P1 (cm3)	$\rho$ Pseco/V (gr/cm3)
E-1	1,642.00	886.00	2,198.00	1,312.00	1.25
E-2	1,644.00	872.00	2,182.00	1,310.00	1.25
E-3	1,638.00	868.00	2,176.00	1,308.00	1.25
				Promedio	1.25

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25**

*Resumen de la densidad del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

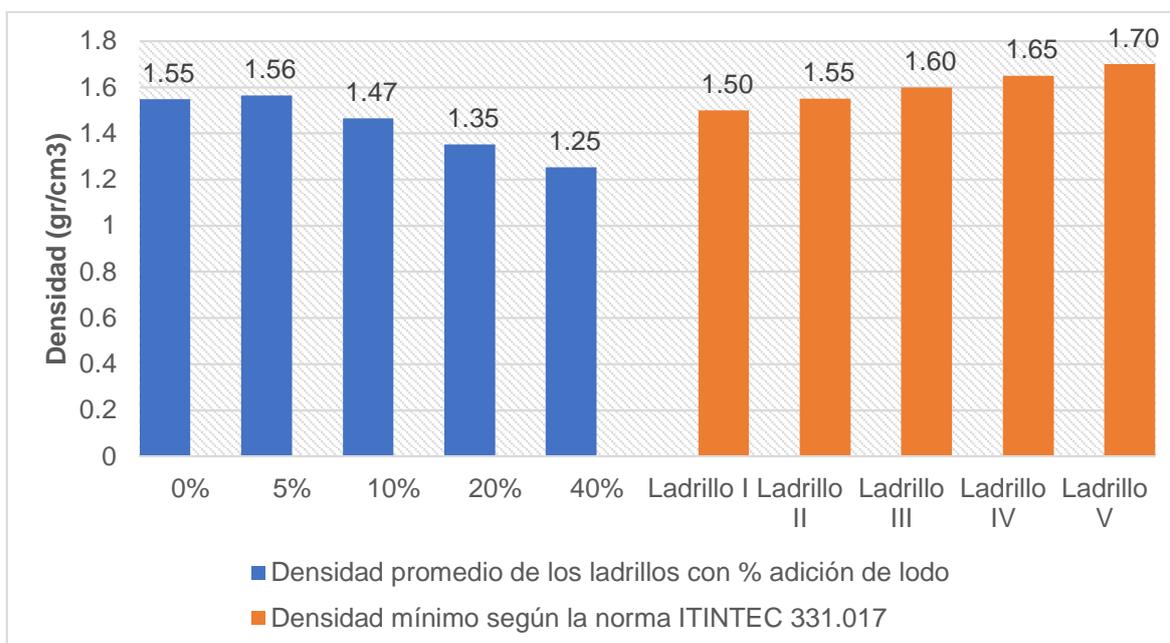
Muestra	% adición de lodo	Densidad promedio (gr/cm3)	Clasificación Según norma ITINTEC 331.017
M-01	0%	1.55	Ladrillo Tipo II
M-02	5%	1.56	Ladrillo Tipo II
M-03	10%	1.47	No clasifica
M-04	20%	1.35	No clasifica
M-05	40%	1.25	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

La densidad es una de las propiedades del ladrillo que relaciona la masa entre su volumen que este ocupa y que se relaciona directamente con la resistencia a la compresión, es decir cuanto mayor sea la densidad mayor será la resistencia a la compresión. De lo dicho anteriormente y según la Tabla 25 la densidad en el ladrillo patrón con 0% de adición de lodo es 1.55 gr/cm<sup>3</sup>. En relación a los ladrillos con adición de lodo, la muestra que presenta mayor valor de es la M-02 con 1.56 gr/cm<sup>3</sup> que tiene incorporado 5% de lodo y el menor valor es en la M-05 con 1.25 gr/cm<sup>3</sup> que tienen incorporado 40% de lodo.

**Figura 22**

*Variación de la densidad en los ladrillos con adición de lodo y la norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 22, se aprecia una tendencia al decremento en la densidad al incrementarse el porcentaje de lodo en su composición, es decir a mayor cantidad de adición de lodo disminuye la densidad del ladrillo. Además, se puede ver que la clasificación del ladrillo según la Norma ITINTEC 331.017 es; para la muestra M-01 con 1.55 gr/cm<sup>3</sup> y M-02 con 1.56 gr/cm<sup>3</sup> tienen una clasificación de ladrillo de Tipo II que tiene como mínimo valor de 1.55 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el resto no cumple con la clasificación ya que el más próximo para una clasificación es el ladrillo de Tipo I que tiene como mínimo valor de clasificación de 1.50 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.6.1.4. Absorción

**Figura 23**

*Ensayo de determinación de absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Ws Peso seco (gr)	Wa Peso saturado 24h (gr)	We 5h ebull.	Absorción %	Absorción Máxima %	Coef. Saturación %
E-1	2,258.0	2,728.0	2,826.0	20.81%	25.16%	0.83
E-2	2,264.0	2,734.0	2,831.0	20.76%	25.04%	0.83
E-3	2,269.0	2,741.0	2,843.0	20.80%	25.30%	0.82
			Promedio	20.79%	25.17%	0.83

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	2,230.0	2,691.0	2,791.0	20.67%	25.16%	0.82
E-2	2,226.0	2,696.0	2,788.0	21.11%	25.25%	0.84
E-3	2,241.0	2,689.0	2,784.0	19.99%	24.23%	0.83
			Promedio	20.59%	24.88%	0.83

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	2,051.0	2,517.0	2,598.0	22.72%	26.67%	0.85
E-2	2,056.0	2,523.0	2,601.0	22.71%	26.51%	0.86
E-3	2,062.0	2,530.0	2,599.0	22.70%	26.04%	0.87
			Promedio	22.71%	26.41%	0.86

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	1,949.0	2,455.0	2,508.0	25.96%	28.68%	0.91
E-2	1,952.0	2,458.0	2,511.0	25.92%	28.64%	0.91
E-3	1,955.0	2,461.0	2,512.0	25.88%	28.49%	0.91
			Promedio	25.92%	28.60%	0.91

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30**

*Absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Ws Peso seco (gr)</b>	<b>Wa Peso saturado 24h (gr)</b>	<b>We 5h ebull.</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Absorción Máxima %</b>	<b>Coef. Saturación %</b>
E-1	1,642.0	2,195.0	2,215.0	33.68%	34.90%	0.97
E-2	1,644.0	2,198.0	2,209.0	33.70%	34.37%	0.98
E-3	1,638.0	2,191.0	2,201.0	33.76%	34.37%	0.98
			Promedio	33.71%	34.55%	0.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31**

*Resumen de la absorción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

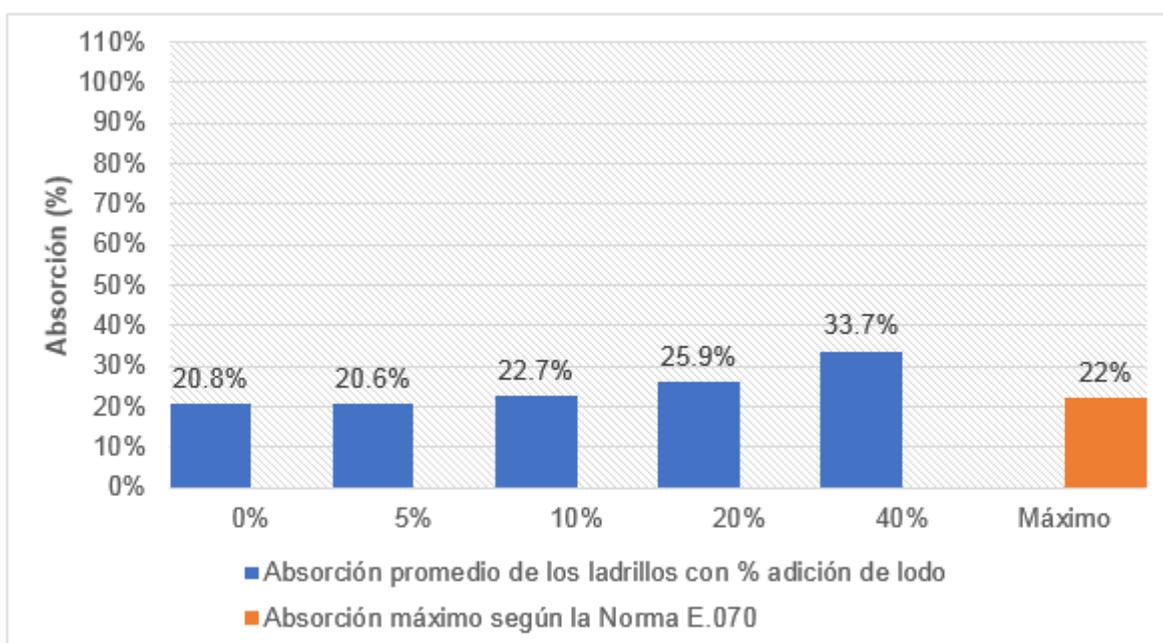
<b>Muestra</b>	<b>% adición de lodo</b>	<b>Absorción promedio %</b>	<b>Absorción máxima promedio %</b>	<b>Coefficiente de saturación</b>	<b>Clasificación Según norma</b>
M-01	0%	20.79	25.17	0.83	Ladrillo Tipo IV
M-02	5%	20.59	24.88	0.83	Ladrillo Tipo IV
M-03	10%	22.71	26.41	0.86	Ladrillo Tipo III
M-04	20%	25.92	28.60	0.91	Ladrillo Tipo I
M-05	40%	33.71	34.55	0.98	Ladrillo Tipo I

Fuente: Elaboración propia

La absorción es considerada como una medida de su impermeabilidad. Según la norma E.070 indica que el máximo valor de la absorción de los ladrillos de arcilla es de 22%. La norma ITINTEC 331.017 clasifica en 5 tipos de ladrillos según la absorción máxima y coeficiente de saturación. De la Tabla 31 se tiene que el valor máximo de absorción se presenta en la M-05 con 33.71% que corresponde a la mezcla con incorporación de lodo en 40% mientras que el valor más bajo se presenta en el ladrillo M-02 que es el ladrillo patrón con 5% de incorporación de lodo con 20.59%, seguido de la M-01 con 20.79% que tiene incorporado 0% de lodo. En la norma E.070 de albañilería recomienda que la absorción sea 22%, valor que se cumple solo en la M-01 y M-02. Sin embargo, se puede apreciar que los demás ladrillos superan ese valor considerablemente siendo el menor y mayor 22.71% y 33.71% las muestras con 10% y 40% respectivamente. Con los datos de la Tabla 31, se nota que los valores de absorción aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de lodo en los ladrillos.

**Figura 24**

*Variación de la absorción en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*

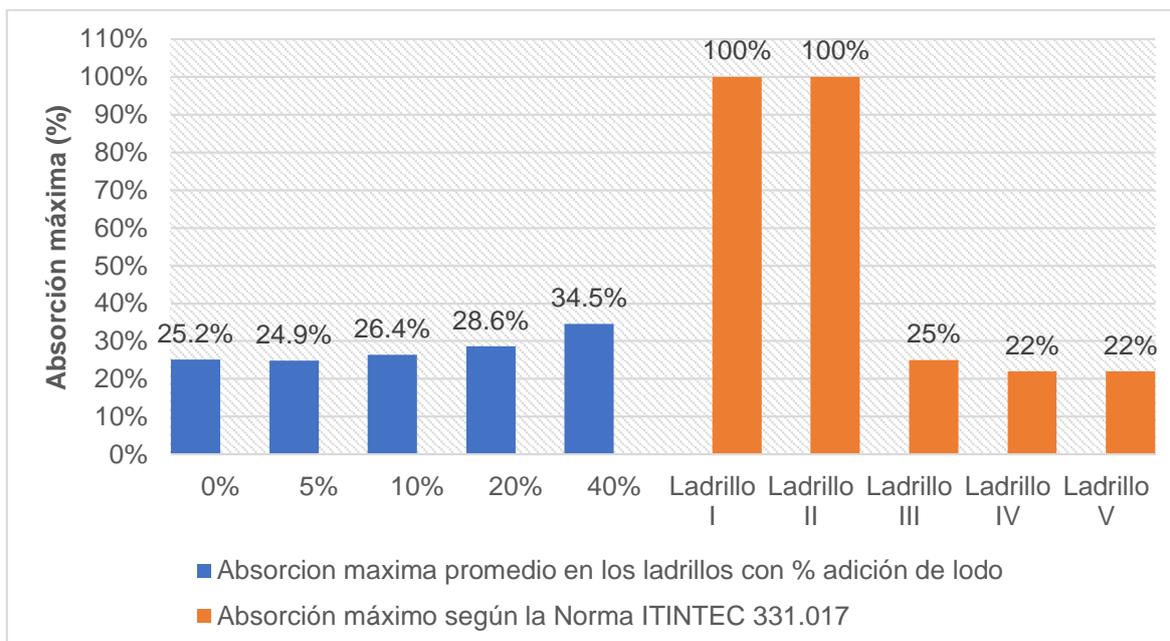


Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 24, se aprecia que las muestras M-01 y M-02 tienen valores de porcentaje de absorción de 20.79% y 20.59% respectivamente, valores menores al máximo valor que establece la E.070 que es de 22%, mientras las M-03, M-04 y M-05 con porcentajes de absorción de 22.7%, 25.92%, 33.71% respectivamente superan el 22% que el porcentaje máximo de absorción.

**Figura 25**

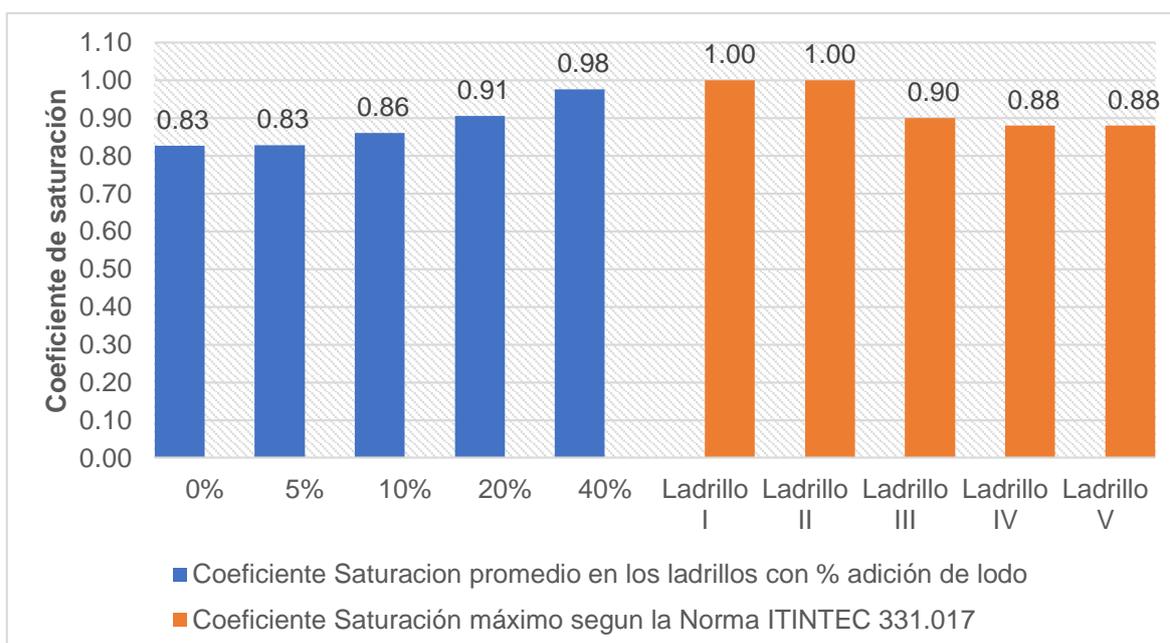
*Variación de la absorción máxima en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 26**

*Variación del coeficiente de saturación en los ladrillos con % de adición de lodo y la Norma ITINTEC 331.017*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25, se muestra la absorción máxima que indica la Norma ITINTEC 331.07, donde la M-02 (5%) no supera el valor de 25% que clasifica como ladrillo III, mientras que la M-01 (0%), M-03 (10%), M-04 (20%) y M-05 (40%) superan el valor de absorción máximo del ladrillo Tipo III que es de 25% clasificándose, así como ladrillo Tipo I que establece como máximo valor el 100% en su absorción máxima.

Y finalmente respecto al coeficiente de saturación en la Figura 26 se aprecia que la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 0.83, 0.83 y 0.86 no superan el 0.88 que es el valor máximo para una clasificación de ladrillo IV, mientras que la M-04 (20%) y M-05 (40%) con 0.91 y 0.98 superan 0.90 del ladrillo Tipo III, clasificándose estos como ladrillo Tipo I, donde para ese tipo de ladrillo el máximo valor es de 1.

### 3.6.1.5. Succión

#### Figura 27

*Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso Mojado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> - min))
E-1	20.50	10.90	6.50	223.45	2,263.00	2,309.00	41.17
E-2	20.60	10.90	6.00	224.54	2,270.00	2,331.00	54.33
E-3	20.50	10.90	6.40	223.45	2,265.00	2,318.00	47.44
						Promedio	47.65
						Desv. Standar	6.58
						Prom. – desv.	41.07

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso saturado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> - min))
E-1	20.50	11.20	6.20	229.60	2,234.00	2,283.00	42.68
E-2	20.20	11.10	6.40	224.22	2,245.00	2,295.00	44.60
E-3	20.40	11.10	6.30	226.44	2,227.50	2,277.00	43.72
						Promedio	43.67
						Desv. Standar	0.96
						Prom-desv	42.71

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área neta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ps Peso seco (gr)</b>	<b>Pm Peso saturado (gr)</b>	<b>Succión (gr/(200cm<sup>2</sup>-min))</b>
E-1	20.40	11.00	6.70	224.40	2,132.00	2,195.00	56.15
E-2	20.20	11.10	6.50	224.22	2,053.00	2,137.00	74.93
E-3	20.20	11.00	6.20	222.20	2,138.00	2,189.50	46.35
						Promedio	59.14
						Desv. Standar	14.52
						Prom-desv	44.62

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área neta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ps Peso seco (gr)</b>	<b>Pm Peso saturado (gr)</b>	<b>Succión (gr/(200cm<sup>2</sup>-min))</b>
E-1	20.50	11.20	6.60	229.60	1,945.00	2,036.00	79.27
E-2	20.40	11.00	6.50	224.40	2,004.00	2,070.00	58.82
E-3	20.40	11.10	6.00	226.44	1,939.50	2,030.00	79.93
						Promedio	72.67
						Desv. Standar	12.00
						Prom-desv	60.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36**

*Succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área neta (cm <sup>2</sup> )	Ps Peso seco (gr)	Pm Peso saturado (gr)	Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))
E-1	20.10	10.90	6.50	219.09	1,627.00	1,774.00	134.19
E-2	19.80	10.70	6.00	211.86	1,689.00	1,805.00	109.51
E-3	20.00	10.60	6.40	212.00	1,622.50	1,768.50	137.74
						Promedio	127.14
						Desv. Standar	15.38
						Prom-desv	111.77

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37**

*Resumen de la succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

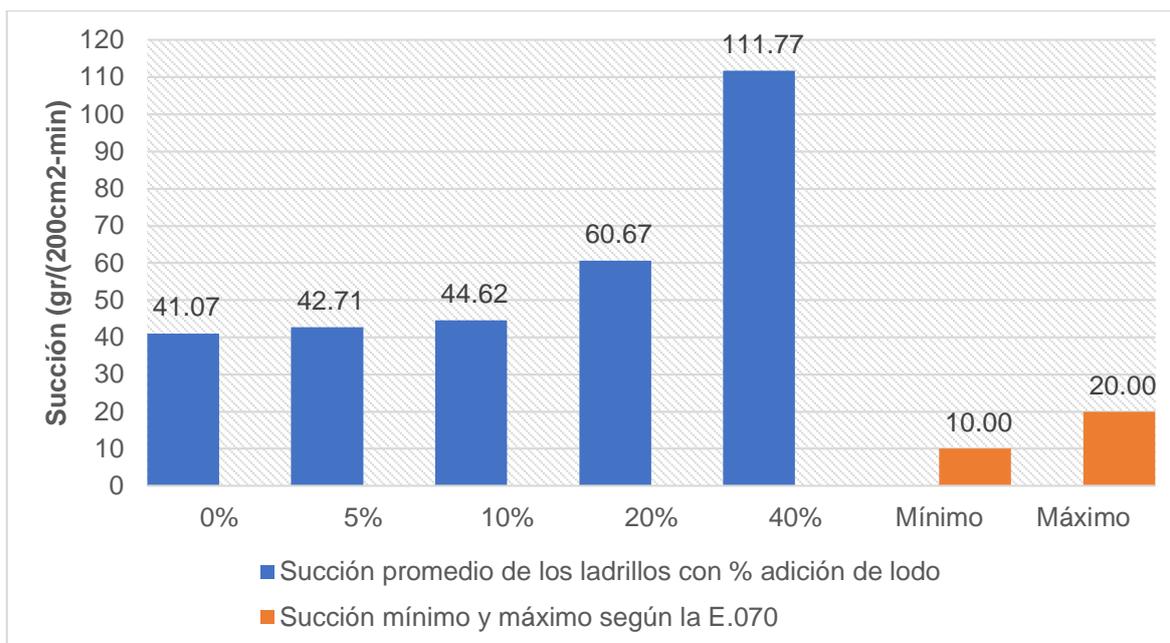
Muestra	% adición de lodo	Succión promedio (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	Norma E.070
M-01	0%	41.07	Recomienda que la succión al instante de asentarse esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm <sup>2</sup> -min.
M-02	5%	42.71	
M-03	10%	44.62	
M-04	20%	60.67	
M-05	40%	111.77	

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 37 se nota que ninguno de los ladrillos cumple con la Norma E 0.70, donde sugiere que la succión recomendada para los ladrillos está entre 10 a 20 gr/200 cm<sup>2</sup>-min, para reducir a estos valores existen técnicas como la de regar por un lapso de 30 min, entre 10 y 15 horas antes realizar los trabajos de asentado. Otro método más eficaz es saturar e inmediatamente realizar el asentado. En esta investigación todos los ladrillos sobrepasan el límite máximo de la succión, donde el valor más alto se presenta en la M-05 que tiene 40% de incorporación de lodo con 111.77 gr/200 cm<sup>2</sup>-min mientras que el valor más bajo se presenta para las muestras M-01, M-02 que tienen 41.07 y 42.71 gr/200 cm<sup>2</sup>-min respectivamente.

**Figura 28**

*Variación de la succión en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28, se puede observar que a mayor porcentaje de incorporación de lodo en la mezcla para la elaboración de ladrillos se tiene que la succión incrementa. El ladrillo con un valor alto de succión no logra una unión adecuada del mortero y el ladrillo, como consecuencia de la absorción rápida por parte del ladrillo al mortero, trayendo como consecuencia una adherencia insuficiente e incompleta con juntas débiles y permeables al agua. Según Bartolomé (2005), cuando se asientan ladrillos que tienen alta capacidad de succión al momento del asentado la resistencia se ve disminuida en 50% en relación a los ladrillos mojados un día antes de realizar el asentado. (p. 116).

## **OE2: Determinación de que si la incorporación lodo de aguas residuales mejorará las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

### **b. Actividades a realizar**

- 1 Recolección de muestra de lodo en la PTAR – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 2 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó

- de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).
- 3 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
  - 4 El mezclado y amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
  - 5 Los ladrillos se elaboraron manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm. Para luego dejar a la exposición del sol y en la noche cubrir de las fuertes heladas, para que de esa manera tenga un secado uniforme, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
  - 6 Ya secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando 3 días dentro del horno para que enfríe (Ver anexo 5).
  - 7 Refrendado de las caras de los ladrillos donde actuará la carga con mortero de yeso y cemento (Ver anexo 5).
  - 8 Preparación de mortero de cemento arena C:A 1:4 (Ver anexo 3) para la elaboración de prismas de ladrillo con junta de no mayor de 1.5cm.
  - 9 Elaboración de prismas de ladrillos, apiladas uno encima de otro conformada por 4 ladrillos, los prismas se secaron durante 14 días en un ambiente seco donde se curaron con agua (Ver anexo 5).
  - 10 Determinación de las propiedades mecánicas del ladrillo mediante ensayos de laboratorio, siguiendo los protocolos citados en la presente investigación y recolectando los datos para su posterior análisis e interpretación (Ver anexo 3) para lo cual se utilizó equipos en el laboratorio GEOTECNIA PUNO E.I.R.L tales como: Máquina para ensayos de concreto STYE-2000, Máquina de ensayos de CBR – MARSHALL MA-75.

### 3.6.1.6. Resistencia a la compresión axial

**Figura 29**

*Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 38**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.3	10.8	6.7	219.24	14,236.00	64.93	6.37
E-2	20.5	10.9	6.3	223.45	12,406.00	55.52	5.45
E-3	20.7	10.9	6.2	225.63	13,696.00	60.70	5.95
					Promedio	60.38	
					Desv. Standar	4.71	
					Prom-desv	55.67	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 39**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	20.20	10.90	6.20	220.18	12,333.0	56.01	5.49
E-2	20.10	10.90	6.40	219.09	12,053.0	55.01	5.40
E-3	20.20	11.00	6.30	222.20	13,832.0	62.25	6.11
					Promedio	57.76	
					desv. Standar	3.92	
					Prom-desv	53.84	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espéc.</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	19.9	10.7	6.7	212.93	13,605.0	63.89	6.27
E-2	20.2	10.8	6.5	218.16	12,437.0	57.01	5.59
E-3	20.2	10.8	6.2	218.16	12,539.0	57.48	5.64
					Promedio	59.46	
					Desv. Standar	3.85	
					Prom-desv	55.61	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 41**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.2	10.9	6.6	220.18	8,326.0	37.81	3.71
E-2	20.3	10.7	6.5	217.21	7,820.0	36.00	3.53
E-3	20.2	10.9	6	220.18	6,660.0	30.25	2.97
					Promedio	34.69	
					Desv. Standar	3.95	
					Prom-desv	30.74	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 42**

*Resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

Espéc.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	Resistencia a la compresión f'b (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión en Mpa (kg-f/cm <sup>2</sup> )
E-1	20.10	10.10	6.50	203.01	2,860.0	14.09	1.38
E-2	19.90	10.50	6.00	208.95	3,983.0	19.06	1.87
E-3	19.80	10.50	6.40	207.90	3,810.0	18.33	1.80
					Promedio	17.16	
					Desv. Standar	2.68	
					Prom-desv	14.47	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43**

*Resumen de la resistencia a la compresión axial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

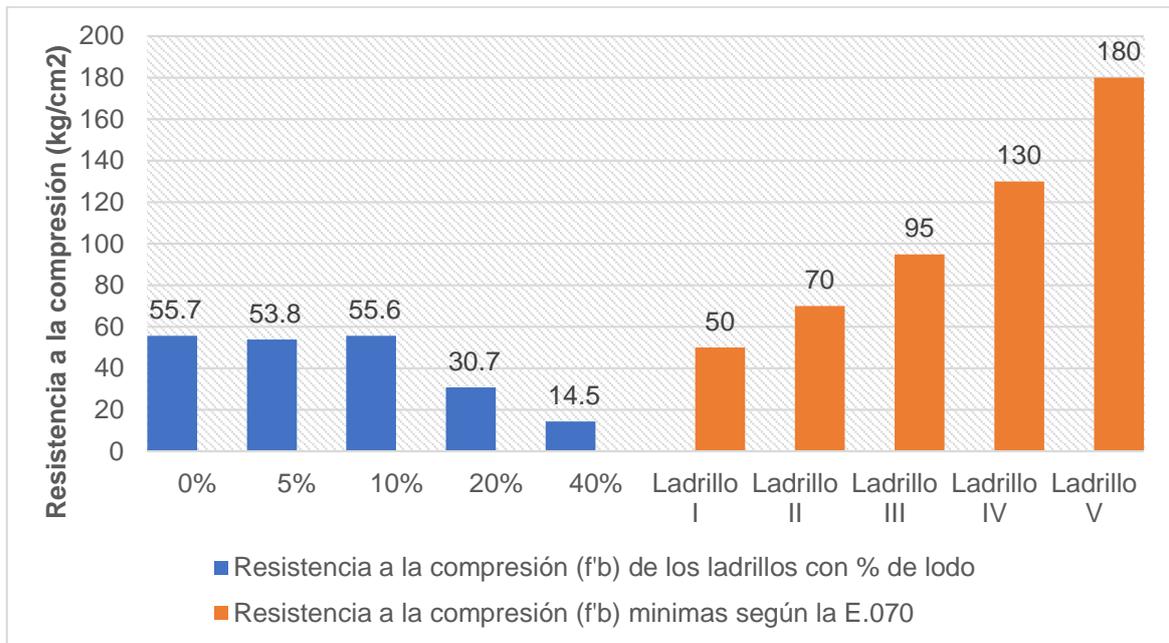
<b>Muestra</b>	<b>% Adición Lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (Mpa)</b>	<b>Clasificación según la norma</b>
E-01	0%	55.67	5.46	Ladrillo Tipo I
E-02	5%	53.84	5.28	Ladrillo Tipo I
E-03	10%	55.61	5.46	Ladrillo Tipo I
E-04	20%	30.74	3.02	No clasifica
E-05	40%	14.47	1.42	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 43, la resistencia a la compresión axial, solo tres de los especímenes pasan el mínimo valor exigido en la norma E.070 para una clasificación de ladrillo de Tipo I, que corresponden a los especímenes E-01, E-02 y E-03 que tienen incorporado lodo en 0%, 5%, 10% con valores de 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, 53.84 kg/cm<sup>2</sup>, 55.61 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, clasificando así a los tres especímenes como ladrillos de tipo I donde las resistencias mínimas que exige la E.070 es de 50 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que la M-04 y M-05 no alcanzan el valor mínimo para una clasificación de ladrillo Tipo I – artesanal por lo tanto no tienen clasificación según la Norma E.070. Además, se puede notar que la resistencia a la compresión axial disminuye cuando la incorporación de lodo sobrepasa el 10%.

**Figura 30**

*Variación de la resistencia a la compresión  $f'b$  en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 30 se puede apreciar una tendencia a la baja cuando el porcentaje de adición de lodo se incrementa, específicamente cuando se supera el 10% de incorporación de lodo a la mezcla la resistencia a la compresión axial disminuye. Según la Norma E.070 y la Figura 30, con mejor comportamiento en la resistencia a la compresión del ladrillo con adición de lodo es el E-02 y E-03 que corresponde a una adición de 5% y 10% de lodo donde se tiene una resistencia a la compresión de 53.8 kg/cm<sup>2</sup> y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, donde superan el valor mínimo para una clasificación de ladrillo de Tipo I (50 kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.6.1.7. Resistencia a la compresión uniaxial

#### Figura 31

*Ensayo de determinación de succión del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	Área BxL (cm <sup>2</sup> )	Carga rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.4	20.8	35.5	237.12	6,892.50	3.11	0.915	29.07	26.58	1.10	29.24	2.87
E-2	11.4	20.9	34.2	238.26	6,592.50	3.00	0.910	27.67	25.18	1.10	27.70	2.72
E-3	11.3	20.8	35.1	235.04	7,936.50	3.11	0.914	33.77	30.87	1.10	33.96	3.33
									Promedio		30.30	2.97
									Desv. Standar		3.26	0.32
									Prom-desv		27.04	2.65

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.5	20.5	35.0	235.75	7,495.50	3.04	0.912	31.79	28.99	1.10	31.89	3.13
E-2	11.4	22.8	35.0	259.92	7,425.00	3.07	0.913	28.57	26.08	1.10	28.68	2.81
E-3	11.5	20.9	34.9	240.35	8,488.50	3.03	0.911	35.32	32.19	1.10	35.41	3.47
									Promedio		31.99	3.14
									Desv. Standar		3.36	0.33
									Prom-desv		28.63	2.81

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.5	20.4	35.7	234.60	7,455.00	3.10	0.914	31.78	29.05	1.10	31.96	3.13
E-2	11.1	20.3	35.8	225.33	8,163.00	3.23	0.919	36.23	33.29	1.10	36.62	3.59
E-3	11.3	20.5	35.7	231.65	7,171.50	3.16	0.916	30.96	28.37	1.10	31.21	3.06
									Promedio		33.26	3.26
									Desv. Standar		2.93	0.29
									Prom-desv		30.33	2.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 47***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

Esp.	B (cm)	L (cm)	H (cm)	A Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kg-f)	esbelt.	factor de correc.	Resist. Compr. fm	fm corregida (kg-f/cm <sup>2</sup> )	coef. I	Resist. Caract. f'm (kg-f/cm <sup>2</sup> )	Resist. Caract. f'm (Mpa)
E-1	11.1	20.6	35.0	228.66	4,005.00	3.15	0.916	17.52	16.05	1.10	17.65	1.73
E-2	11.4	20.6	34.7	234.84	4,659.00	3.04	0.912	19.84	18.09	1.10	19.90	1.95
E-3	11.0	20.5	35.0	225.50	4,038.00	3.18	0.917	17.91	16.43	1.10	18.07	1.77
									Promedio		18.54	1.82
									Desv. Standar		1.19	0.12
									Prom-desv		17.34	1.70

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 48***Resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Esp.</b>	<b>B (cm)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>A Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>esbelt.</b>	<b>factor de correc.</b>	<b>Resist. Compr. fm</b>	<b>fm corregida (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>coef. I</b>	<b>Resist. Caract. f'm (kg-f/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Caract. f'm (Mpa)</b>
E-1	11.0	20.1	35.3	221.10	2,100.00	3.21	0.918	9.50	8.72	1.10	9.59	0.94
E-2	10.9	20.1	34.7	219.09	1,936.50	3.18	0.917	8.84	8.11	1.10	8.92	0.87
E-3	11.1	20.1	35.1	223.11	2,043.00	3.16	0.916	9.16	8.39	1.10	9.23	0.91
									Promedio		9.25	0.91
									Desv. Standar		0.34	0.03
									Prom-desv		8.91	0.87

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 49**

*Resumen de la resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

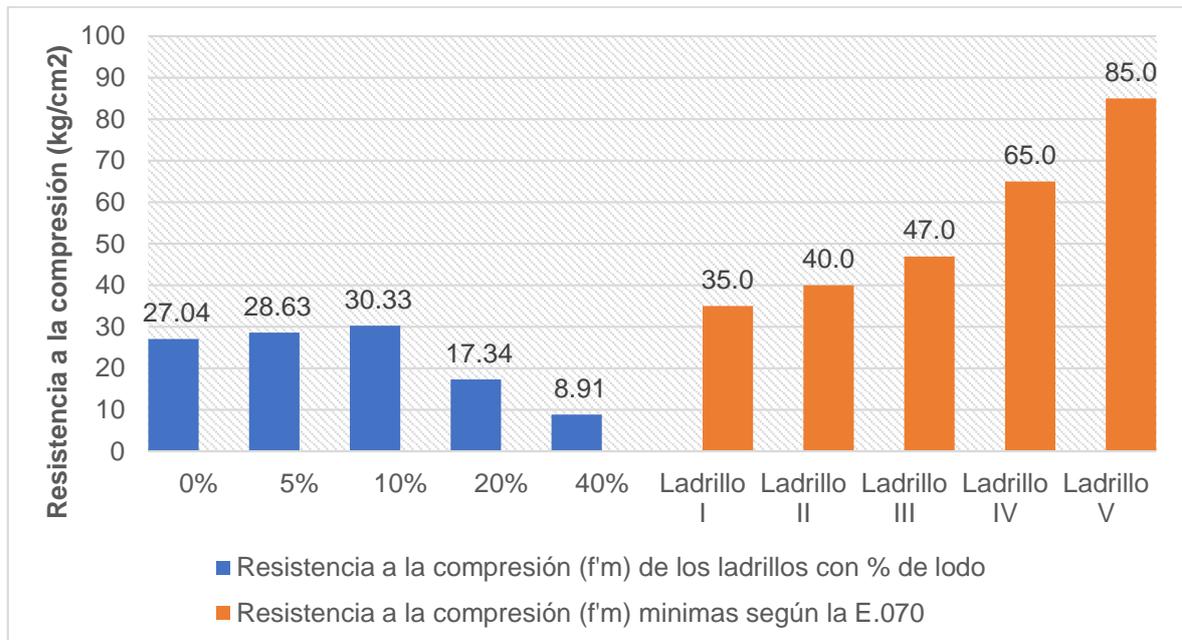
<b>Muestra</b>	<b>% Adición Lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (Mpa)</b>	<b>Clasificación según la normal</b>
M-01	0%	27.04	2.65	No clasifica
M-02	5%	28.63	2.81	No clasifica
M-03	10%	30.33	2.98	No clasifica
M-04	20%	17.34	1.70	No clasifica
M-05	40%	8.91	0.87	No clasifica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 donde se muestra el resumen de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial (pilas) de los ladrillos con 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de adición de lodo, notando que las resistencias a la compresión que tienen cada uno de ellos no alcanzan a 35 kg/cm<sup>2</sup> que es el mínimo valor exigido por la E.070 para ladrillos artesanales de Tipo I, mencionando además que el ladrillo patrón que tiene 0% de adición de lodo alcanza 27.04 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, referente a los ladrillos con adición de lodo que mejor comportamiento tienen son los ladrillos con adición de 5% y 10% con resistencias a la compresión de 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Y el ladrillo con adición de 40% de lodo tiene el valor más bajo con 8.91 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 32**

*Variación de la resistencia a la compresión en pilas f'm en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

Además del Figura 32, se aprecia que mejor comportamiento tiene de todas las muestras es la pila conformada por ladrillos con adición de lodo de 0%, 5% y 10% pero no alcanzando al valor de 35 kg/cm<sup>2</sup> para una clasificación de ladrillo de Tipo I, Además se aprecia que al adicionar lodo en 5% y 10% se tiene un incremento en 5.88% y 12.17% respecto a la pila conformada por ladrillo con 0% de lodo respectivamente. Es así que se puede establecer que cuando se incrementa el lodo en más del 10% los valores en la resistencia a la compresión uniaxial disminuye de una manera desproporcionada como se puede ver la Figura 32.

### 3.6.1.8. Resistencia a la tracción

**Figura 33**

*Ensayo de determinación de la resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 50**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 0% de lodo de aguas residuales*

Espécimen	Carga de rotura (kg-f)	Distancia entre apoyos (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	f'tb (kg/cm <sup>2</sup> )
E-1	163.00	18.00	10.80	6.70	9.08
E-2	192.00	18.00	10.90	6.30	11.98
E-3	157.00	18.00	10.90	6.20	10.12
				Promedio	10.39
				Desv. Standar	1.47
				Prom-desv	8.92

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 51**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 5% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	259.00	18.00	10.90	6.20	16.69
E-2	202.00	18.00	10.90	6.40	12.22
E-3	229.00	18.00	11.00	6.30	14.16
				Promedio	14.36
				Desv. Standar	2.24
				Prom-desv	12.11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 52**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 10% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	208.00	18	10.7	6.70	11.69
E-2	168.00	18	10.8	6.50	9.94
E-3	141.00	18	10.8	6.20	9.17
				Promedio	10.27
				Desv. Standar	1.29
				Prom-desv	8.98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 53**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 20% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	90.00	18	10.9	6.60	5.12
E-2	132.00	18	10.7	6.50	7.88
E-3	110.00	18	10.9	6.00	7.57
				Promedio	6.86
				Desv. Standar	1.51
				Prom-desv	5.34

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 54**

*Resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de 40% de lodo de aguas residuales*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga de rotura (kg-f)</b>	<b>Distancia entre apoyos (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>f'tb (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
E-1	40.00	18	10.6	6.50	2.41
E-2	49.00	18	10.5	6.00	3.50
E-3	61.00	18	10.5	6.40	3.83
				Promedio	3.25
				Desv. Standar	0.74
				Prom-desv	2.50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 55**

*Resumen de resistencia a la tracción del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

<b>Muestra</b>	<b>% Adición lodo</b>	<b>Resistencia a la tracción <math>f'_{tb}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% que alcanza la tracción sobre la compresión</b>
M-01	0%	8.92	27.04	32.99%
M-02	5%	12.11	28.63	42.30%
M-03	10%	8.98	30.33	29.61%
M-04	20%	5.34	17.34	30.80%
M-05	40%	2.50	8.91	28.06%

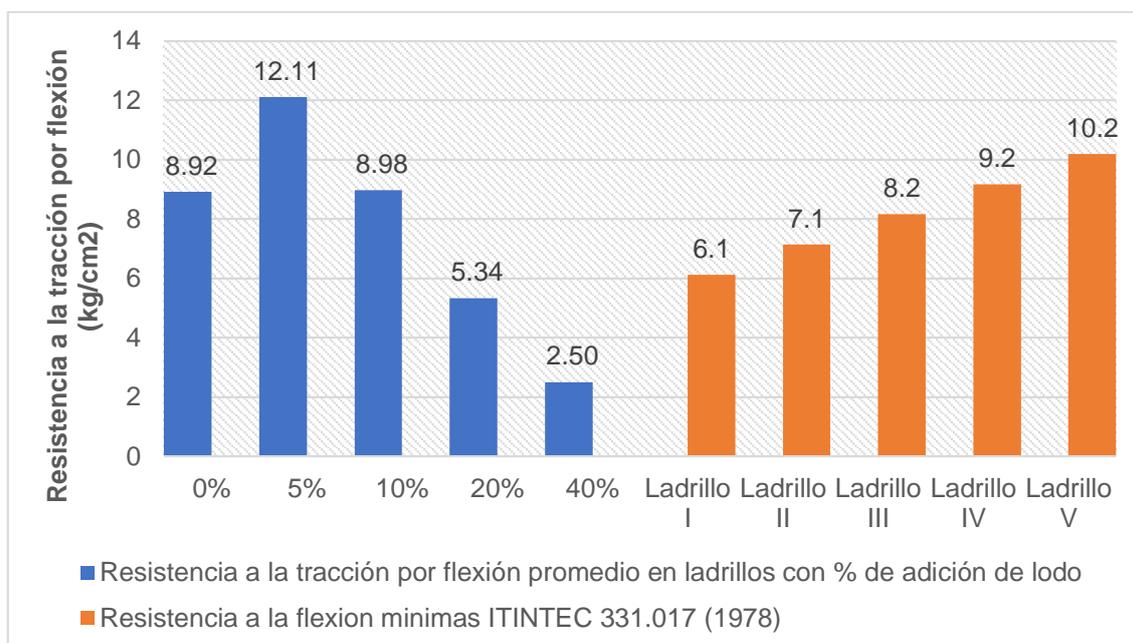
Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la tracción es un ensayo dispensable para la clasificación del ladrillo, sin embargo, se recomienda realizar estos ensayos cuando se trate de ladrillos de Tipo IV y V. Generalmente se conoce que la propiedad característica principal del ladrillo en su resistencia a la compresión, es decir cuando se aplica la fuerza a la pila este tiende a rajarse verticalmente debido a la tracción lateral que ocasiona el mortero de fluir a los laterales y de esa manera poder escapar de entre ellos mismos, a lo dicho, al incrementar la resistencia a la tracción de alguna manera se incrementa la resistencia a la compresión de la albañilería.

Según la Tabla 55 que mejor comportamiento tienen son los ladrillos que tienen incorporado lodo en 0%, 5% y 10% con 8.92 kg/cm<sup>2</sup>, 12.11 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente superando 8.2 kg/cm<sup>2</sup> que exige el ladrillo Tipo III según la clasificación de la norma ITINTEC 331.017 (1978). Consecuentemente con lo dicho en el párrafo anterior según la norma ITINTEC 331.017 la resistencia a la tracción debe ser proporcional a la resistencia a la compresión, es decir a mayor resistencia a la compresión mayor será la resistencia a la tracción, por consiguiente, se obtuvo que la mejor resistencia a la compresión en pilas que mejor comportamiento tuvieron fueron las dosificaciones de 0%, 5% y 10% con 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia a la tracción fueron para 0%, 5% y 10% de 8.92 kg/cm<sup>2</sup>, 12.11 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**Figura 34**

*Variación de la resistencia a la tracción por flexión  $f'_{tb}$  en los ladrillos con adición de lodo y la NTE.070*



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 34, el máximo valor se obtuvo con la incorporación de lodo en un 5% llegando a 12.11 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos con adición de lodo en 0% y 10% tienen valores casi iguales 8.92 kg/cm<sup>2</sup> y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por lo que se puede establecer, que cuando se incrementa el porcentaje de lodo en porcentajes mayores al 10% la resistencia a la tracción disminuye considerablemente, no alcanzado el valor mínimo para clasificar como ladrillo de Tipo I que es de 6.1 kg/cm<sup>2</sup>.

**OE3: Definir, que si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno**

**c. Actividades a realizar**

- 8 Recolección de muestra de lodo en la planta de tratamiento de aguas residuales – Espinar en el distrito de Puno (Ver anexo 5).
- 9 Extracción de materia prima para la fabricación de ladrillo en el centro poblado de Salcedo – La rinconada Distrito de Puno, esta actividad se realizó de manera puntual en el lugar del horno donde se realizará la fabricación del ladrillo (Ver anexo 5).

- 10 Dosificación por volumen, es decir el volumen necesario para fabricar 40 unidades (una sola muestra) de ladrillo se necesita 0.0686 m<sup>3</sup> de mezcla, las cuales fueron dosificadas en los porcentajes siguientes para 0%, 5%, 10%, 20% y 40% de lodo se mezclará con 100%, 95%, 90%, 80% y 60% de materia prima de cantera respectivamente (Ver anexo 5).
- 11 El amasado se realizó manualmente de la misma forma que se realiza para la fabricación de ladrillos artesanales (Ver anexo 5).
- 12 La elaboración de ladrillos sólidos fue fabricada manualmente con un molde de madera que tiene las siguientes medidas 22.0cm x 11.0 cm x 6.8 cm, los bloques que contienen mayor porcentaje de lodo demoraron en secar más tiempo (15 días) (Ver anexo 5).
- 13 Una vez secas los bloques de ladrillo se colocó en el horno artesanal para su cocción durante 12 horas, y dejando dentro del horno para que enfríe durante 3 días (Ver anexo 5).
- 14 El análisis de las características se realizó a muestras de ladrillo al azar.

### 3.6.1.9. Peso

**Tabla 56**

*Peso promedio de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Peso promedio (gr.)</b>	<b>Densidad Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	2,263.7	1,587.75	Se acepta
M-02	5%	2,232.3	1,607.06	Se acepta
M-03	10%	2,056.3	1,469.39	Se rechaza
M-04	20%	1,952.0	1,398.74	Se rechaza
M-05	40%	1,641.3	1,260.77	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

Según Gallegos & Casabonne (2005) la densidad está en función de su materia prima y calidad de fabricación y este debe estar en el intervalo de 1,400-1,700 kg/m<sup>3</sup> para ladrillo 1 y 1,600-1,900 kg/m<sup>3</sup> para ladrillo 2, según la Tabla 56 solo cumplen las muestras M-01, M-02 y M-03. Por lo que se acepta en la calidad. Se puede ver en la Tabla 56 que medida que se incrementa en la incorporación de lodo el peso disminuye haciendo que disminuya la calidad del ladrillo.

### 3.6.1.10. Color

**Figura 35**

*Color del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 57**

*Color de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

Muestra	Adición de lodo %	Color	Calidad
M-01	0%	Naranja oscuro	Se acepta
M-02	5%	Naranja oscuro	Se acepta
M-03	10%	Naranja claro	Se rechaza
M-04	20%	Naranja claro	Se rechaza
M-05	40%	Naranja más claro	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

Según la Norma E.070 los ladrillos sometidos a cocción deben tener un color uniforme de color rojo a amarillo, como se puede apreciar en la Figura 35 el que tiene una tonalidad cercana al color rojo es de la mezcla de 0% y 5% mientras que la mezcla de 40% tiene una tonalidad de color naranja más claro.

### 3.6.1.11. Textura

**Tabla 58**

*Textura de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Textura</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	No presenta fisura	Se acepta
M-02	5%	No presenta fisura	Se acepta
M-03	10%	No presenta fisura	Se acepta
M-04	20%	No presenta fisura	Se rechaza
M-05	40%	Presenta fisura	Se rechaza

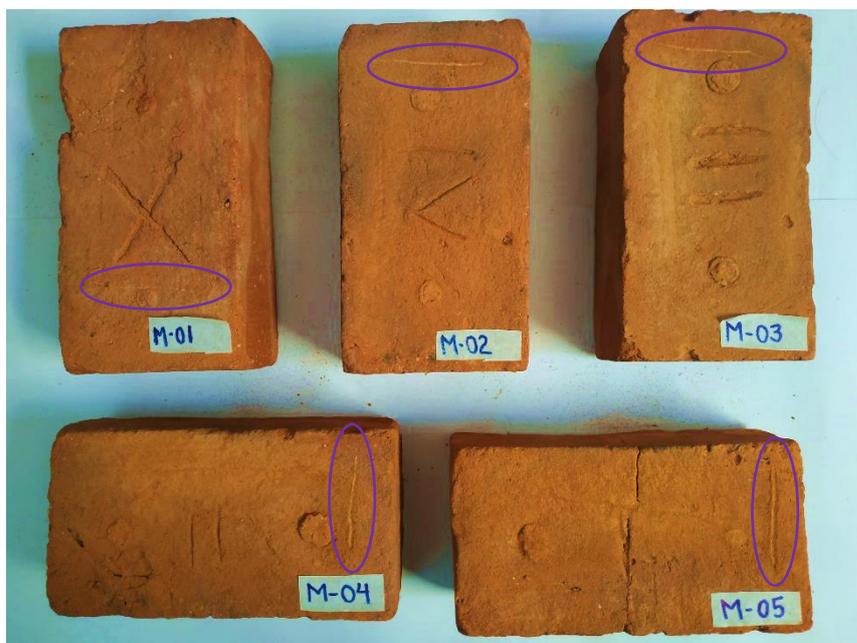
Fuente: Elaboración propia

En el Figura 35, se aprecia que la textura es fina a rugoso e uniforme en las muestras M-01 y M-02 notándose en las aristas están bien perfilados y no presentan fisuras en ninguna de las caras, mientras que en las muestras M-03, M-04 y M-05 presentan una textura rugosa a la vez las aristas no tienen un buen acabado, específicamente en la muestra M-05 (40%) tiene presencia de fisura en la cara del asentado, este problema viene desde el moldeado del ladrillo y en el secado.

### 3.6.1.12. Dureza

**Figura 36**

*Dureza del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo de aguas residuales*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 59**

*Dureza de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Dureza</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	Sin impresión	Se acepta
M-02	5%	Sin impresión	Se acepta
M-03	10%	Sin impresión	Se acepta
M-04	20%	Con impresión	Se rechaza
M-05	40%	Con impresión	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 36, se puede notar la impresión que deja la uña al pasar por una de las caras del ladrillo, teniendo esta impresión más pronunciada en las muestras M-04 y M-05, debido que estos ladrillos presentan gran porcentaje vacíos (esponjoso).

### 3.6.1.13. Solidez

**Tabla 60**

*Solidez de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Muestra</b>	<b>Adición de lodo %</b>	<b>Solidez</b>	<b>Calidad</b>
M-01	0%	Sonido metálico	Se acepta
M-02	5%	Sonido metálico	Se acepta
M-03	10%	Sonido metálico	Se acepta
M-04	20%	Sin sonido metálico	Se rechaza
M-05	40%	Sin sonido metálico	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 60, se muestra los resultados de la aplicación de un golpe con un martillo en el ladrillo donde las muestras M-01, M-02 y M-03 tuvieron un sonido metálico mientras que los ladrillos M-04 y M-05 tienen un sonido grave (no presentan sonido metálico).

#### **OG: Análisis de que si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno – Puno, 2021**

De los resultados obtenidos para los objetivos específicos se puede notar que la incorporación de lodo en diferentes porcentajes en la elaboración de ladrillos artesanales sólidos influye en la resistencia a la compresión del ladrillo, es decir la incorporación de lodo en porcentajes menores al 10% tiene mejores resultados, mientras que cuando se excede el 10% hay una disminución considerable.

Para esta parte del desarrollo que es la prueba de hipótesis, se aplicó el diseño completamente aleatorio DCA, el cual nos ayuda a determinar si hay una diferencia o no entre las mezclas empleadas en la fabricación de ladrillos. Con los resultados obtenidos se pudo notar que existe una gran dispersión en la resistencia a la compresión axial por la adición de lodo en porcentajes diferentes, sin embargo, para tener esa certeza si la variación es estadísticamente significativa se plantea la prueba de hipótesis.

Ho:  $\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H1:  $\mu_0 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

**Tabla 61**

*Análisis de Varianza para los datos de la variación de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal*

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor p
Muestra	4	4457.841	1114.46	74.137	0.00000021636
Error experimental	10	150.325	15.033		
Total	14	4608.166			

Fuente: Elaboración propia

El cociente F ha resultado en el presente estudio de 74.137 que, en una F con 4 y 10 grados de libertad, deja a su derecha una cola de probabilidad 0.00000021636.

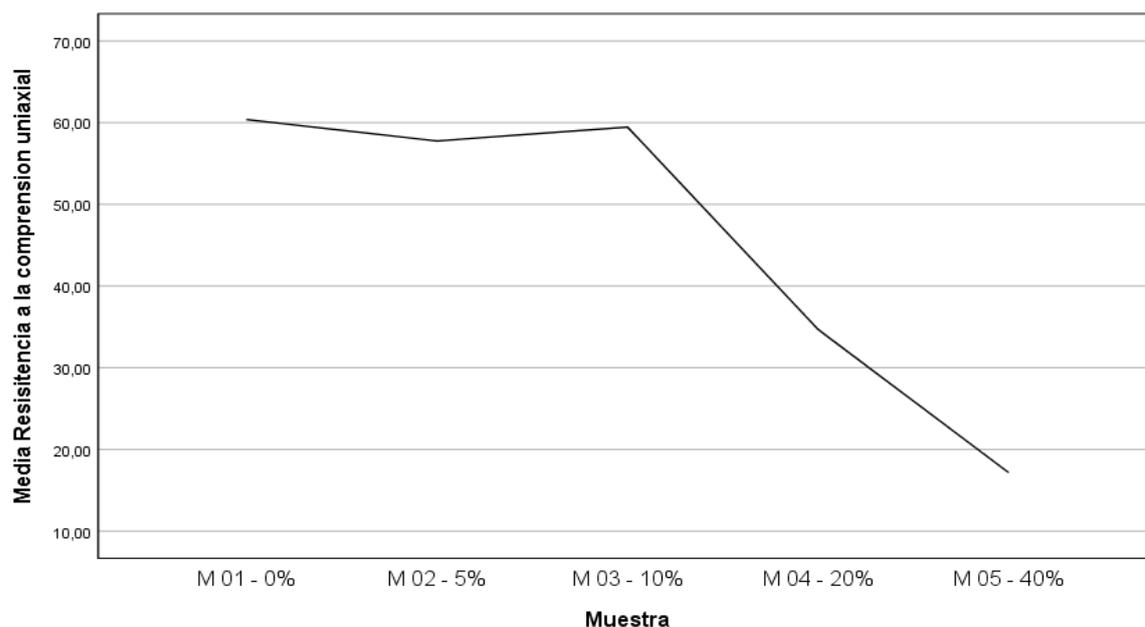
Resulta por tanto un contraste significativo a niveles de significación del 5% y se rechaza la hipótesis nula en los niveles medios de la resistencia a la compresión axial con las 15 muestras estudiadas.

Como  $F_{cal} = 74.137 > F_{tab} = 3.478$ , en este caso se podría concluir que al menos uno o más muestras en estudio ha producido resultados a la media de los cuales se diferencia del resto de las muestras de forma estadísticamente significativa

En la Tabla 61, la probabilidad que aparece indica aquel valor de a partir del análisis de varianza detectaría diferencia significativa. Así pues, a menor valor de probabilidad, mayor seguridad de que existen diferencias significativas. La conclusión es que el factor muestra (acción de lodo en porcentajes diferentes) influye en la resistencia a la compresión axial, es decir, los distintos niveles del factor de muestra se comportan de diferente forma en la resistencia a la compresión se refiere.

**Figura 37**

*Gráfico de las medias*



Fuente: Elaboración propia

La Figura 37 de medias sugiere un fuerte decrecimiento de la resistencia a la compresión axial al pasar de 60.38 Kg/cm<sup>2</sup>. a 17.16 Kg/cm<sup>2</sup>. Los valores medios inferiores en la resistencia a la compresión axial llevan a un efecto contrario, mostrando en el gráfico un suave descenso; es decir existen diferencias significativas.

### **Prueba de comparaciones múltiples**

El ANOVA nos indica cuántas muestras difieren estadísticamente y cuáles son. Sin embargo, con una inspección visual se puede tener una pista que muestras son, pero si se quiere abordar con criterios más sólidos existen pruebas estadísticas que ayudan a identificar de qué muestra se trata.

**Tabla 62**

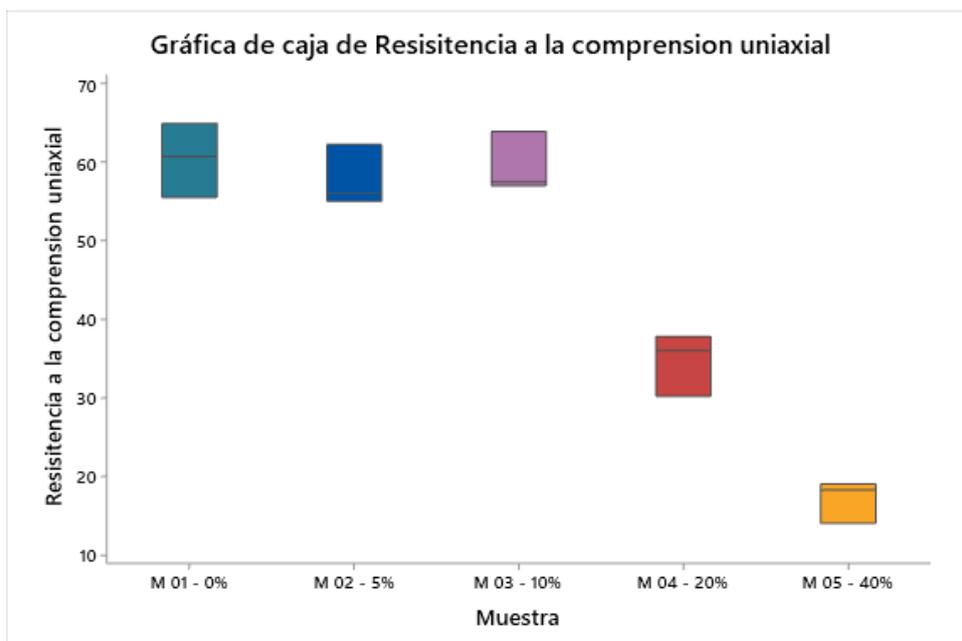
*Agrupación de muestras utilizando el método de Duncan y una confianza de 95%*

Muestra	N	Media	Agrupación
M 01 - 0%	3	60.38	A
M 03 - 10%	3	59.46	A
M 02 - 5%	3	57.76	A
M 04 - 20%	3	34.69	B
M 05 - 40%	3	17.16	C

Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

*Gráfico de caja de resistencia a la compresión axial*



Fuente: Elaboración propia

El que las muestras tengan la misma letra implica que no hay diferencias significativas entre ellas por lo que es factible unir mediante una línea, donde las muestras son acomodadas en forma descendente teniendo en consideración a los promedios de las resistencias a la compresión axial.

### **3.7. Aspectos éticos**

Siguiendo los lineamientos al código de ética en investigación de la Universidad César Vallejo aprobado con RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO No 0126-2017/UCV, En esta investigación se ha respetado la identidad, información obtenida y los resultados obtenidos en las publicaciones de propiedad intelectual de los autores, que han sido objeto de referencia.

Los criterios éticos aplicados en esta investigación son la confidencialidad, objetividad y originalidad, evitando cometer las faltas éticas citadas en el código de ética de la Universidad César Vallejo como son: exceso de citas textuales, plagio total o parcial, fraude de resultados, adulteración de documentos, obtención de lucro personal, etc.

#### IV. RESULTADOS

##### Resultados al OG:

De los resultados obtenidos de la prueba estadística con un nivel de significancia de 0.05 el promedio de la resistencia a la compresión axial tiene diferencias estadísticas sobre las demás muestras, y se diferencian significativamente de las otras muestras, por lo tanto, las muestras M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) son las que más aportan al presente trabajo de investigación. Por otro lado, la M-04 (20%) aporta moderadamente al estudio, de la misma manera la muestra que menos aporta al presente estudio es la M-05 (40%), tal como se muestra en la Tabla 62 de diferencia de medias y el diagrama de cajas (Figura 38).

##### Resultados al OE1:

**Tabla 63**

*Resumen de las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

Muest.	% de lodo	Varia. Dimen. Prom. %	Alabeo Prom.	Densid. Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	Absor. Prom. %	Coef. de satur.	Succión (gr/200cm <sup>2</sup> /min)
M-01	0%	1.4	1.47	1.55	20.79	0.83	41.07
M-02	5%	3.2	1.46	1.56	20.59	0.83	42.71
M-03	10%	2.1	1.75	1.47	22.71	0.86	44.62
M-04	20%	1.8	1.84	1.35	25.92	0.91	60.67
M-05	40%	3.8	1.94	1.25	33.71	0.98	111.77

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 64 se muestra el resumen de las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10%, 20% y 40%) y comparando con la Norma E.070 y la Norma ITINTEC 331.17, considerando la máxima variación dimensional, el mejor comportamiento tienen la M-01 (0%) como Tipo IV y M-02 (5%), M-03 (10%) clasificándose ladrillo Tipo II, por el alabeo como ladrillo Tipo V para M-02 (5%), ladrillo Tipo IV para M-01 (0%) y M-03 (10%) así para cualquier porcentaje de adición de lodo no hay una diferencia significativa en el alabeo, así mismo la densidad mínima según la norma ITINTEC es 1.55 gr/cm<sup>2</sup> para un ladrillo Tipo II y 1.60 gr/cm<sup>3</sup> para Tipo III, por lo que la M-01 (0%) y M-02 (5%) tienen clasificación de ladrillo Tipo II, y el resto de los ladrillo

cumplen con la densidad del ladrillo Tipo I, respecto a la absorción solo la M-01 y M-02 no superan el máximo valor que establece la norma E.070 que es de 22%. Y según la Norma ITINTEC 331.17 en la absorción máxima la M-02 (5%) se clasifica como ladrillo Tipo III y el resto como ladrillo Tipo I. De la misma manera la succión en todos los ladrillos no cumple con la Norma E.070 donde indica que la succión de los ladrillos de arcilla debe estar entre 10 y 20 (gr/(200cm<sup>2</sup>-min). finalmente, el coeficiente de saturación según la norma ITINTEC 331.17, indica que deben ser menores a 0.80 para que tengan mejor comportamiento (poco absorbentes), por esto la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) se clasifican como ladrillo de Tipo IV donde el valor máximo es 0.9 mientras que la M-04 (20%) y M-05 (40%) tienen clasificación de ladrillo Tipo I donde el coeficiente de saturación máximo es 1.

**Tabla 64**

*Resumen de clasificación del tipo de ladrillos con adición de lodo según las normas indicadas*

PROPIEDADES	SEGÚN NORMA E.070 DEL RNE					SEGÚN NORMA ITINTEC 331.07				
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05
Variación dimensional	ladrillo IV	ladrillo II	ladrillo II	ladrillo II	No clasifica	ladrillo IV	ladrillo II	ladrillo II	ladrillo II	No clasifica
Alabeo	ladrillo IV	ladrillo V	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo V	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV
Absorción	Unidades de arcilla máximo 22%					-	-	-	-	-
	20.79%	20.59%	22.71%	25.92%	33.71%	-	-	-	-	-
Absorción Máxima	-	-	-	-	-	ladrillo I	ladrillo III	ladrillo I	ladrillo I	ladrillo I
Coefficiente de saturación	-	-	-	-	-	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo IV	ladrillo I	ladrillo I
Densidad	-	-	-	-	-	ladrillo II	Ladrillo II	No clasifica	No clasifica	No clasifica
	mínimo 10 - máximo 20 gr/(200cm2xmin)					mínimo 10 - máximo 20 gr/(200cm2xmin)				
Succión	41.07 no cumple	42.71 no cumple	44.62 no cumple	60.67 no cumple	111.77 no cumple	41.07 no cumple	42.71 no cumple	44.62 no cumple	60.67 no cumple	111.77 no cumple
Resistencia a la compresión	ladrillo I	ladrillo I	ladrillo I	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica	No clasifica
<b>TIPO DE LADRILLO</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>ladrillo I</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>	<b>No clasifica</b>

Fuente: Elaboración propia

## Resultado al OE2:

**Tabla 65**

*Resumen de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes*

<b>Muestra</b>	<b>% Adición de lodo</b>	<b>Resistencia a la compresión axial <math>f'_b</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión uniaxial <math>f'_m</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción <math>f'_{tb}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M-01	0%	55.67	27.04	8.92
M-02	5%	53.84	28.63	12.11
M-03	10%	55.61	30.33	8.98
M-04	20%	30.74	17.34	5.34
M-05	40%	14.47	8.91	2.50

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 65 se muestra el resumen de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10%, 20% y 40%) y previa comparación con la Norma E0.070 (albañilería) y la Norma ITINTEC 331.17 Tabla 4 y Tabla 1 respectivamente. Que el mayor valor de resistencia a la compresión axial se presenta en la M-01 con 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, donde tiene 0% de lodo, mientras que en los ladrillos con adición de lodo los valores más altos se presentan en M-02 y M-03 con 53.84 y 55.61 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, cumpliendo con la resistencia a la compresión mínima que exige la E0.70 que es de 50 kg/cm<sup>2</sup> y clasificándose como ladrillo Tipo I y por otra parte se tienen el valor más bajo muestra M-05 donde se adiciono lodo en 40% con 14.47 kg/cm<sup>2</sup>. En relación a la resistencia a la compresión uniaxial (prismas) ninguno de los ladrillos alcanzó el mínimo valor que establece la Norma E.070 que es de 35.00 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 4), siendo los valores más próximos de 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup>, 30.33 kg/cm<sup>2</sup>, para M-01(0%), M-02(5%) y M-03(10%) respectivamente, mientras que el valor más bajo es en M-05(40%) donde el valor es de 8.91kg/cm<sup>2</sup>. Y por último en la resistencia a la tracción por flexión el valor más alto se presenta en la muestra M-02(5%) con 12.11 kg/cm<sup>2</sup> superando al ladrillo que tiene 0% de lodo, de esa manera cumplen con la norma ITINTEC solo el M-01(0%), M-02(5%) y M-03(10%), con 8.92, 12.11 y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, donde el resto de los ladrillos no alcanzan el mínimo establecido que es de 6.1 kg/cm<sup>2</sup> para un ladrillo tipo I.

### Resultados al OE3:

**Tabla 66**

*Resumen de las características de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales*

<b>Mues tra</b>	<b>% Adición de lodo</b>	<b>Peso Prom. (gr.)</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Solidez</b>	<b>Dureza</b>
M-01	0%	2,263.7	Naranja oscuro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-02	5%	2,232.3	Naranja oscuro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-03	10%	2,056.3	Naranja claro	No presenta fisura	Sonido metálico	Sin impresión
M-04	20%	1,952.0	Naranja claro	Presenta fisura	Sin sonido metálico	Con impresión
M-05	40%	1,641.3	Naranja más claro	Presenta fisura	Sin sonido metálico	Con impresión

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 66, según las características de los ladrillos artesanales sólidos con incorporación de lodo de aguas residuales, las muestras que tienen buenas características son las muestras M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) por lo que se puede aceptar como elemento de construcción en viviendas que prestan bajo nivel de servicio como lo indica la E.070.

## V. DISCUSIÓN

### Discusión al OG:

En la presente investigación se determinó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales sólidas, donde la adición óptima de lodo en la mezcla es de 5% y 10% donde se obtuvieron valores que cumplen con lo indicado por la Norma E.070, mientras que la adición de lodo en porcentajes mayores al 10% presentan una disminución en las propiedades estructurales. Al respecto **Zapata** (2020) citado como antecedente nacional, llega a la conclusión que el porcentaje óptimo de adición de lodo al ladrillo macizo artesanal es del 20% de lodo orgánico, alcanzando una resistencia a la compresión de 60.42 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, **Camargo & Yambay** (2020) citado como antecedente internacional llega a la conclusión que los ladrillos que tienen incorporado lodo en 5% de lodo de planta de tratamiento de aguas residuales presentan mejores resultados en las resistencias mecánica que tiene un valor de 2.82 MPa (28.76 kg/cm<sup>2</sup>) incrementándose en un 23% al ladrillo artesanal patrón que tiene una resistencia a la compresión de 2.29 MPa (23.35 kg/cm<sup>2</sup>), concluyendo que el lodo residual es factible su utilización en la elaboración de ladrillo por ende en la rama de las edificaciones no estructurales. Al comparar los resultados se puede concluir en que la incorporación de lodo de aguas residuales en porcentajes menores o iguales a 10% (5% a 10%) mejoran de alguna manera las propiedades físico mecánicas en los ladrillos artesanales.

### Discusión al OE1:

En la presente investigación la incorporación de lodo de aguas residuales en los ladrillos artesanales sólidos mejoran en algunos de las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, tal es el caso en el ladrillo que tiene incorporado 5% de lodo de aguas residuales en su mezcla, mejorando en la densidad de la M-02 (5%) con 1.56 gr/cm<sup>2</sup>, la absorción en la M-02 (5%) con 20.59% y la absorción máxima de la M-02 (5%) con 24.88% en relación al ladrillo patrón M-01 (0%), mientras en la variación dimensional se tiene una variación mayor en su largo del ladrillo, respecto al alabeo no tienen variación significativa

a cualquier porcentaje de adición de lodo y finalmente la succión se incrementa a mayor porcentaje de lodo superando ampliamente el máximo recomendado de 20 gr/(200cm<sup>2</sup>-min) siendo el más menor de la M-01 (0%) con 41.07 gr/(200cm<sup>2</sup>-min). Al respecto **Huillcaya & Vidal** (2018) citado como antecedente nacional llegó a la conclusión que el porcentaje óptimo de adición de biosólido es de 10%, donde la variación dimensional se incrementa a mayor porcentaje de adición de biosólido en su largo, ancho y altura mientras que el alabeo es el mismo para cualquier porcentaje de adición de biosólido. La absorción es de 22% clasificándose como ladrillo Tipo III. Asimismo, **Fuentes et ál.** (2017) citado como antecedente internacional dice el porcentaje de adición óptima de biosólido es 5%, 10% y 15% con valores de absorción de 16.75%, 16.07%, 16.23% valores menores al máximo 17% según la NTC 4205, La absorción máxima para las mismas adiciones de lodo tienen un valor de 19.96%, 19.86% y 19.75% respectivamente siendo menores al máximo que es 20% según la NTC 4205. En la succión de todas las muestras el menor es para 0% y 5% con 94 gr/200cm<sup>2</sup>/min y 104.0 gr/200cm<sup>2</sup>/min superan el valor máximo es 50 g/200cm<sup>2</sup>/min según la NTC 4205. Por lo que se demuestra que la adición de lodo en porcentajes de 5% mejoran las propiedades físicas y la adición de lodo en 10% mantienen los mismos valores que el ladrillo patrón.

### **Discusión al OE2:**

En la presente investigación la incorporación lodo de aguas residuales mejora en algunas de las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, es decir con incorporación de lodo en porcentajes menores al 10% la resistencia mecánica mejora y/o mantiene las propiedades mecánicas respecto al ladrillo patrón. Tal es el caso de la resistencia a la compresión axial para incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% se tiene 55.67 kg/cm<sup>2</sup>, 53.8 kg/cm<sup>2</sup> y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente donde las tres muestras superan el mínimo indicado por la E.070 (50.0 kg/cm<sup>2</sup>). En la resistencia a la compresión uniaxial (pilas) se mejoró con relación al ladrillo patrón M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 27.04 kg/cm<sup>2</sup>, 28.63 kg/cm<sup>2</sup> y 30.33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, finalmente la resistencia a la tracción también se mejoró los valores en la M-01 (0%), M-02 (5%) y M-03 (10%) con 8.92, 12.11 y 8.98 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Estos resultados guardan relación con **Peralta** (2018) citado como antecedente internacional, donde la resistencia a la compresión más alta es 131.00 kg/cm<sup>2</sup> que tiene adición de lodo en 5% superando lo indicado por la NTE-INEN 297, para ladrillo Tipo C con 80 kg/cm<sup>2</sup> superando la resistencia mecánica del ladrillo patrón (0% de lodo) con 76.3 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos con 10% y 20% de lodo no cumplen con el valor mínimo establecido por la norma NTE-INEN 297 para ladrillo Tipo C (80 kg/cm<sup>2</sup>). Pero en lo que no se concuerda es con **Espillico** (2019) citado como antecedente nacional, donde concluyó a que el mejor resultado a la resistencia a la compresión de unidades de 12x10x5.5cm con una mezcla de clase textural franco arenosa y arcilla se obtiene adicionando lodo en 45% alcanzado una resistencia a la compresión 54.16 kg/cm<sup>2</sup> con clasificación de ladrillo Tipo I. Por lo que se demuestra que la adición de lodo en porcentajes menores al 10% mejoran de alguna manera las propiedades mecánicas en los ladrillos artesanales.

### **Discusión al OE3:**

En esta investigación la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, con incorporaciones de lodo en porcentajes de 5% y 10%, como es el peso del ladrillo de 20.19 x 10.8 x 6.4 cm. en la M-01 (0%) con 2,263.7 gr, M-02 (5%) con 2,232.3 gr, M-03 (10%) con 2,056.3 gr, M-04 (20%) con 1952.0 gr y M-05 (20%) con 1,641.3 gr donde el peso por unidad de volumen es 1.59; 1.61; 1.47; 1.40 y 1.26 gr/cm<sup>3</sup>. El color en las muestras M-01, M-02 y M-03 es de naranja oscuro mientras que el resto es de una tonalidad de naranja más claro. Las características de textura, solidez y dureza tienen una calificación de aceptable en las M-01, M-02 y M-03. Estos resultados se aproximan a lo concluido por **Peralta** (2018) como antecedente internacional, donde los ladrillos de medidas de 28 x 14 x 9 cm para dosificaciones de 0%, 5%, 10%, y 20% el peso por ladrillo es 4,167.19; 3,835.74; 3,376.34 y 2,976.09 gr. donde el peso por unidad de cm<sup>3</sup> es 4.75; 4.37; 3.85 y 3.39 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, donde a medida que se incrementa el porcentaje de lodo el peso del ladrillo disminuye. Todos los ladrillos presentan superficie más o menos rugosa, respecto al color adquieren un color anaranjado rojizo. Pero en lo que no se concuerda es con **Espillico**

(2019) citado como antecedente nacional, donde concluye que para un ladrillo de 12 cm x 10 cm x 5.5 cm cuando se incrementa el porcentaje de lodo el peso también se incrementa es decir para una dosificación de lodo en 30% y 60 % tiene un peso de 1,212 gr, para una dosificación de 23.79, 45 y 66.21% se tiene un peso 1,217 gr y finalmente para una adición en 45% se tiene 1,222 gr., siendo el peso por una unidad de cm<sup>3</sup> tiene 1.83; 1.84; 1.85 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente; Referente al color en todas las muestras se caracterizan por tener un color naranja oscuro. La textura de todas las muestras es rugosa. Hecho la comparación se concluye que la incorporación de lodo de aguas residuales en 5% y 10% mejoran las características del ladrillo artesanal.

## **VI. CONCLUSIONES**

### **Conclusiones al OG:**

En esta investigación se analizó si la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las propiedades físico mecánicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, donde se concluye que las propiedades físicas mecánicas del ladrillo artesanal sólido mejoran según el porcentaje de incorporación de lodo de aguas residuales, teniendo mejores resultados con la incorporación de lodo en porcentajes menores a 10% de la mezcla utilizada en el proceso de elaboración de ladrillos donde los valores cumplen con la Norma E.070 y tienen una clasificación de ladrillo de Tipo I. Determinando así que la adición más óptima de lodo es del 5% a 10%, es decir con valores mayores al 10% de adición de lodo los valores en las propiedades físico mecánicas disminuyen y no cumplen con lo indicado por la Norma E0.70 e ITINTEC 313.07.

### **Conclusiones al OE1:**

En esta tesis se determinó si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades físicas de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, donde se concluye que las propiedades físicas (variación dimensional, alabeo) del ladrillo artesanal sólido mantienen valores similares al ladrillo patrón para cualquier porcentaje de adición de lodo. Considerando la clasificación más desfavorable para cada tipo de muestra, donde las propiedades físicas de los ladrillos elaborados con adición de lodo de aguas residuales en 0%, 5% y 10% tienen una clasificación en promedio de ladrillo Tipo I y son adecuadas para su clasificación como ladrillos ecológicos donde cuentan con medidas de 21.0 cm x 11.0 cm x 6.8 cm, por otro lado, los ladrillos elaborados con adición de lodo en 20% y 40% alcanzaron en una de las propiedades físicas, pero fueron considerados sin clasificación por tener al menos una propiedad física que no permitió su clasificación.

### **Conclusiones al OE2:**

Para la presente investigación se determinó si la incorporación lodo de aguas residuales mejoran las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales en la

ciudad de Puno, donde se determinó que las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería artesanales sólidas con adición de lodo de aguas residuales si mejoran en porcentajes menores al 10%. Considerando la clasificación más desfavorable para cada tipo de muestra la resistencia a la compresión axial y tracción por flexión de los ladrillos con incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% superan el valor mínimo de 50 kg/cm<sup>2</sup> con 55.7, 53.8 y 55.6 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y se clasifican como ladrillo de Tipo I, clasificación más baja de las unidades de albañilería para fines estructurales. Caso contrario que para los ladrillos con adición de lodo en porcentajes mayores al 10% se presentan valores menores en la resistencia a la compresión axial como es para 20% y 40% de adición de lodo con 30.7 y 14.5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente donde no alcanzan valores para asignar una clasificación.

### **Conclusiones al OE3:**

Finalmente se determinó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las características de los ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, con la incorporación de lodo en 0%, 5% y 10% donde cumplen con las características para ser aceptados como un material que se puede usar en construcciones de bajo nivel de exigencia en el servicio, con características aceptadas en: el peso, color, textura. Además, según la clasificación que hace Gallegos & Casabonne (2005) los ladrillos con 0% y 5% se clasifican como ladrillo 1 mientras que el ladrillo con 10% se clasifica como ladrillo 2.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **Recomendaciones al OG:**

Con los resultados obtenidos donde se llegó que la incorporación de lodo de aguas residuales mejora las resistencias físico mecánicas del ladrillo artesanal, se recomienda realizar investigaciones con incorporación de lodo industrial, lodo de tratamiento de agua potable, etc. en porcentajes menores al 15% para de esa manera encontrar el porcentaje óptimo de lodo que se puede incorporar.

### **Recomendaciones al OE1:**

En función de los resultados obtenidos y dado que en la mayoría de los resultados las propiedades físicas del ladrillo artesanal sólido con adición de lodo alcanza una clasificación mínima de ladrillo que es ladrillo Tipo I según la Norma E.070 e ITINTEC 331.017, se recomienda realizar investigaciones de la materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos en el centro Poblado de salcedo – la Rinconada, para determinar las proporciones adecuadas de los materiales que conforman la mezcla y obtener un ladrillo de mejor clasificación y disminuir las imperfecciones que presentan los ladrillos artesanales.

### **Recomendaciones al OE2:**

Referente a las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal sólido con incorporación de lodo en diferentes porcentajes se ha visto que la resistencia a la compresión axial y tracción por flexión cumple con los valores mínimos indicados por la norma E-0.70, para lo cual se recomienda realizar investigaciones en unidades de albañilería Semi Industriales con adición de lodo en porcentajes menores a 20% y comparar estos resultados con en esta investigación.

### **Recomendaciones al OE3:**

En relación a las características del ladrillo artesanal se pudo evidenciar que no existen investigaciones referidas a sus características, para lo cual se recomienda realizar investigaciones referidas a la composición química del lodo de la laguna de oxidación de Espinar – Puno, puesto que la mayoría de las características de los ladrillos están relacionados a la composición química de los materiales que lo conforman.