

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ELABORACIÓN DE ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA COMO  
AGREGADO GRUESO Y ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A  
LA COMPRESIÓN, PESO UNITARIO Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL  
CONCRETO  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, EN LA REGIÓN CUSCO, 2023**

**PRESENTADO POR:**

Br. Gianella Muñoz Huamani

Br. Widman Policarpo Estrada

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO CIVIL**

**ASESOR (A):**

**PhD. Ing. Aída Zapata Mar**

**CUSCO-PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

Quien suscribe Ph. D. Ing. Aída Zapata Mar, asesora de la tesis titulada: "ELABORACIÓN DE ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA COMO AGREGADO GRUESO Y ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, PESO UNITARIO Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL CONCRETO  $f_c=210\text{kg/cm}^2$ , EN LA REGIÓN CUSCO, 2023". Desarrollado por los tesisistas: Bach. Gianella Muñoz Huamani, con DNI N°75945540 y Bach. Widman Policarpo Estrada, con DNI N°71084185, para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **tercera** vez, mediante el software anti plagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para uso de sistema anti plagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **2%**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis.

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del sistema anti plagio.

Cusco, 07 de agosto del 2024.



**Post firma: Ph. D. Ing. Aída Zapata Mar**

Docente de la Facultad de Ingeniería Civil

Nro. de DNI **46939604**

ORCID del Asesor 0000-0002-5500-0134

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid: 27259:371868844**

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS 06-08-2024.pdf**

AUTOR

**Gianella Muñoz Huamani**

RECUENTO DE PALABRAS

**76502 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**322892 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**363 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**30.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 7, 2024 9:43 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 7, 2024 9:47 AM GMT-5**

### ● 2% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

## DEDICATORIA

A mis padres, Yanet y Cosme, maravillosas personas con las que tengo la dicha de compartir mi vida y a quienes en realidad corresponde este logro, los amo profundamente.

A mis seres especiales, Jhoel, Antonny, Yamila, Ruth, Katy, Lu y Tiffany, quienes, con su compañía, hacen que esta vida sea mucho más divertida y placentera.

*Gianella Muñoz Huamani*

A mis padres y mi hermana; Damián, Elvira y Lisbeth; quienes, con su ejemplo, dedicación, palabras de aliento y constante apoyo han hecho posible la consecución de este gran logro profesional.

*Widman Policarpo Estrada*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme vivir este reto lleno de aprendizajes, personas y lugares maravillosos.

Agradezco a mis padres por su gran ejemplo de superación, su apoyo constante, por ser quienes son y por todo el amor que me dan.

Agradezco a mis hermanos, tíos, amigos, familia en general por siempre acompañarme y motivarme.

*Gianella Muñoz Huamani*

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, con su sabiduría, paciencia y aliento, contribuyeron a la realización de este trabajo. Su apoyo incondicional fue fundamental para llevar a cabo esta investigación.

*Widman Policarpo Estrada*

De manera muy especial queremos agradecer a:

Nuestra asesora Ph.D Ing. Aída Zapata Mar.

Nuestro mentor Ing. Atilio Mendigure Sarmiento.

Ing. Washington Julio Lechuga Canal.

Ing. Ascención Auccapure Rojas.

Sr. Germán Romero.

Lic. Giovanna Guzmán Cáceres.

Por su amistad, disposición y apoyo constante en esta investigación.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XXII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>25</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>26</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>29</b>
REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	29
IDENTIFICACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	31
<i>Problema General</i> .....	31
<i>Problemas Específicos</i> .....	31
OBJETIVOS .....	32
<i>Objetivo General</i> .....	32
<i>Objetivos Específicos</i> .....	32
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN. ....	33
<i>Justificación Práctica</i> .....	33
<i>Justificación Metodológica</i> .....	33
<i>Justificación Teórica</i> .....	34
DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
<i>Espacial</i> .....	34

<i>Temporal</i> .....	34
<i>Social</i> .....	35
<i>Conceptual</i> .....	35
VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	35
<i>Económica</i> .....	35
<i>Social</i> .....	35
<i>Técnica</i> .....	35
<i>Limitaciones</i> .....	36
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>37</b>
ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	37
<i>A Nivel Internacional</i> .....	37
<i>A Nivel Nacional</i> .....	38
BASES TEÓRICAS.....	40
<i>Las Arcillas</i> .....	40
Características Mineralógicas.....	40
<i>Arcillas Térmicamente Expandidas</i> .....	41
<i>Principales Características de la Arcilla Expandida</i> .....	42
<i>Elección de la Arcilla</i> .....	42
Composición Química.....	42
<i>Identificación de la Composición Química</i> .....	46
El Espectroscopio Láser de Fluorescencia de Rayos X (XRF). .....	46
PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS TÉRMICAMENTE EXPANDIDAS.....	47
Baja Densidad o Peso Unitario.....	47
Resistencia Mecánica.....	47
Aislante Térmico.....	47

Resistente al Fuego. ....	47
Respetuosa con el Medio Ambiente.....	48
<i>El Concreto</i> .....	48
<i>Propiedades Mecánicas del Concreto</i> .....	48
Diseño de Mezcla.....	48
Resistencia a Compresión. ....	49
<i>Propiedades Físicas del Concreto</i> .....	49
La Trabajabilidad. ....	49
Consistencia.....	50
Ensayo para Determinar la Consistencia del Concreto. ....	50
Peso Unitario. ....	51
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES .....	51
Coeficiente de Conductividad Térmica.....	52
Ensayo para la Determinación de la Conductividad Térmica. ....	53
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>54</b>
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	54
<i>Hipótesis General</i> .....	54
<i>Hipótesis Específicas</i> .....	54
MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	54
TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	55
NIVEL O ALCANCE DE INVESTIGACIÓN .....	55
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	56
<i>Diseño Metodológico</i> .....	56
<i>Diseño de Ingeniería</i> .....	57
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	58

<i>Definición de Variables</i> .....	58
<i>Matriz de Operacionalización de Variables</i> .....	58
<i>Matriz de Caracterización</i> .....	60
POBLACIÓN, MUESTRA Y TAMAÑO MUESTRAL .....	61
<i>Población</i> .....	61
<i>Muestra</i> .....	61
<i>Tamaño Muestral</i> .....	61
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	64
<i>Técnicas</i> .....	64
<i>Instrumentos</i> .....	65
RECOLECCIÓN DE DATOS .....	66
<i>Estudio de Canteras</i> .....	66
Exploración de Canteras.....	66
Arcilla de San Jerónimo, Cusco, Cusco. ....	67
Arcilla de Checacupe, Canchis, Cusco. ....	69
Arcilla de Lamay, Coya, Calca, Cusco.....	70
Arcilla de Izcuchaca, Anta, Cusco. ....	72
Arcilla de Sicuani, Canchis, Cusco.....	74
Arcilla de Ocongate, Quispicanchi, Cusco.....	75
Arcilla del CP Huayanay, Santa Ana, La Convención, Cusco.....	77
<i>Caracterización de las Arcillas</i> . ....	78
Clasificación de suelos. ....	78
<i>Índice de plasticidad</i> . ....	82
Análisis de Composición Química de las Muestras de Arcilla.....	84
<i>Evaluación de expansión térmica a diferentes temperaturas de calcinación</i> .....	85

<i>Proceso de Elaboración de Arcilla Térmicamente Expandida</i> .....	92
Extracción y Transporte de la Materia Prima. ....	92
Pelletización y redondeo. ....	92
Sinterización de la arcilla. ....	96
Tamizado y mezcla de la arcilla expandida. ....	98
<i>Análisis de las propiedades físico-mecánicas de los agregados</i> .....	100
Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200 de los agregados. ....	100
Peso unitario y vacíos de los agregados. ....	102
Análisis granulométrico de los agregados. ....	104
Análisis Granulométrico del Agregado fino. ....	106
Análisis Granulométrico de la Piedra Chancada de la Cantera Vicho. ....	106
Análisis Granulométrico de la Arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco. ....	108
Gravedad específica y absorción del agregado fino. ....	109
Peso específico y Absorción de la Piedra Chancada de la Cantera Vicho. ...	110
Peso Específico y Absorción de la Arcilla Térmicamente Expandida. ....	112
Contenido de Humedad de los Agregados. ....	114
Resistencia a la Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles .....	116
<i>Diseño de mezcla</i> .....	118
Diseño de Mezcla para Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con Piedra Chancada de la Cantera Vicho. ....	118
Diseño de Mezcla para Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con Arcilla Térmicamente Expandida. ....	125
<i>Elaboración y curado de especímenes de concreto</i> .....	126
<i>Determinación del asentamiento de la mezcla de concreto (SLUMP)</i> .....	130

<i>Determinación del peso unitario en estado fresco del concreto</i> .....	133
<i>Ensayo de resistencia a la compresión de testigos de concreto.</i> .....	134
Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con Piedra Chancada de la Cantera Vicho.....	135
Concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ con arcilla térmicamente expandida.....	138
<i>Determinación de la conductividad térmica del concreto <math>f'c=210\text{kg/cm}^2</math>.</i> ....	141
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>144</b>
RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LAS ARCILLAS .....	144
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de San Jerónimo</i> .....	144
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Huayanay</i> .....	146
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Izcuchaca</i> .....	147
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Ocongate</i> .....	148
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Lamay</i> .....	149
<i>Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Checacupe</i> .....	150
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LAS ARCILLAS .....	151
<i>Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de San Jerónimo</i> .....	151
<i>Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Sicuani</i> .....	153
<i>Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Huayanay</i> .....	155
<i>Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Izcuchaca</i> .....	157
<i>Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Ocongate</i> .....	159
LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LA ARCILLA DE LAMAY.....	161
<i>Clasificación de suelos</i> .....	163
RESULTADOS DEL ENSAYO QUÍMICO DE LAS ARCILLAS .....	169
RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN TÉRMICA A ALTAS TEMPERATURAS .....	174
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	180

<i>Cantidad de material fino que pasa el Tamiz N°200 (MTC E 200)</i> .....	180
Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 del Agregado Fino.....	180
Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 de la Piedra Chancada	181
Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 de la Arcilla	
Térmicamente expandida .....	182
<i>Peso Unitario y vacíos de los Agregados</i> .....	182
Peso Unitario del Agregado Fino.....	182
Peso Unitario de la Piedra Chancada .....	184
Peso Unitario de la Arcilla Térmicamente Expandida .....	185
<i>Análisis Granulométrico</i> .....	186
Análisis Granulométrico del Agregado Fino .....	186
Análisis Granulométrico de la Piedra Chancada .....	189
Análisis Granulométrico de la Arcilla Térmicamente Expandida .....	191
<i>Peso Específico y Absorción</i> .....	193
Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino .....	193
Peso Específico y Absorción de la Piedra Chancada .....	193
Peso Específico y Absorción de la Arcilla Térmicamente Expandida .....	194
<i>Contenido de Humedad</i> .....	195
Contenido de Humedad del Agregado Fino .....	195
Contenido de Humedad de la Piedra Chancada.....	195
Contenido de Humedad de la Arcilla Térmicamente Expandida.....	196
Ensayo de abrasión por desgaste en la máquina Los Ángeles de la piedra chancada.....	196
Ensayo de abrasión por desgaste en la máquina Los Ángeles de la arcilla térmicamente expandida .....	197

RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA .....	197
<i>Diseño de Mezcla de Concreto Patrón <math>f' = 210 \text{ kg/cm}^2</math> con piedra chancada de vicho</i> .....	197
<i>Diseño de Mezcla con Sustitución de la Piedra Chancada con Arcilla Térmicamente Expandida</i> .....	199
RESULTADOS DEL ASENTAMIENTO Y CONSISTENCIA.....	201
RESULTADOS DE ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO ....	202
<i>Peso Unitario Fresco del Concreto Patrón</i> .....	202
<i>Peso Unitario Fresco del Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida</i> .....	203
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	204
<i>Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón</i> .....	204
Resistencia a la compresión a los 07 días.....	204
Resistencia a la compresión a los 14 días.....	206
Resistencia a la compresión a los 28 días.....	208
<i>Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida</i> .....	210
Resistencia a la compresión a los 07 días.....	210
Resistencia a la compresión a los 14 días.....	212
Resistencia a la compresión a los 28 días.....	214
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCIÓN POR METRO CÚBICO DE CONCRETO .....	216
<i>Costo de Producción de 01 m<sup>3</sup> de Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida</i> .....	216
Análisis de cantidad de materiales y rendimientos. ....	216

Análisis de precios unitarios para la elaboración de un m <sup>3</sup> de arcilla térmicamente expandida. ....	217
Análisis de precios unitarios para la elaboración de un m <sup>3</sup> de concreto f'c=210kg/cm <sup>2</sup> con arcilla térmicamente expandida. ....	218
<i>Costo de Producción de 01 m<sup>3</sup> de Concreto con Piedra Chancada de la Cantera     Vicho</i> .....	219
RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	220
<i>Resultados de la Conductividad Térmica del Concreto Patrón</i> .....	220
<i>Resultados de la Conductividad Térmica del Concreto con Arcilla Térmicamente         Expandida</i> .....	229
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>238</b>
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ARCILLAS Y SU INCIDENCIA EN EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA DE ESTAS.....	238
ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN DE ARCILLA PARA LA ELABORACIÓN DE ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA .....	239
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO .....	239
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO ...	240
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	241
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	244
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL COSTO DE 01M <sup>3</sup> DE CONCRETO CON ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA .....	251
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>252</b>
CONCLUSIONES .....	252
RECOMENDACIONES .....	253

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>255</b>
<b>APÉNDICES Y ANEXOS .....</b>	<b>258</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Composición Química Ideal de las Arcillas con potencial de expansión térmica ...</i>	45
<b>Tabla 2</b> <i>Clasificación de materiales en función a su Capacidad Aislante .....</i>	53
<b>Tabla 3</b> <i>Matriz de Operacionalización de Variables I.....</i>	58
<b>Tabla 4</b> <i>Matriz de Operacionalización de Variables II.....</i>	59
<b>Tabla 5</b> <i>Matriz de Caracterización de Componentes.....</i>	60
<b>Tabla 6</b> <i>Muestras para ensayo de Composición Química .....</i>	62
<b>Tabla 7</b> <i>Tamaño muestral de esferas para calcinación .....</i>	63
<b>Tabla 8</b> <i>Tamaño muestral de briquetas para determinar la resistencia a la compresión del concreto .....</i>	64
<b>Tabla 9</b> <i>Tamaño muestral de bloques para ensayo de conductividad térmica del concreto</i>	64
<b>Tabla 10</b> <i>Elementos químicos de las arcillas estudiadas .....</i>	85
<b>Tabla 11</b> <i>Cantidad mínima de muestra para el ensayo de cantidad de material más fino que el tamiz N°200.....</i>	100
<b>Tabla 12</b> <i>Cantidad de muestra mínima para el ensayo granulométrico por tamizado .....</i>	105
<b>Tabla 13</b> <i>Límites para la gradación de agregado fino.....</i>	106
<b>Tabla 14</b> <i>Límites para la gradación del agregado grueso .....</i>	107
<b>Tabla 15</b> <i>Cantidad mínima de muestra de agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción .....</i>	111
<b>Tabla 16</b> <i>Cantidad de muestra mínima para el ensayo de contenido de humedad de agregados .....</i>	114
<b>Tabla 17</b> <i>Número de esferas por gradación .....</i>	116
<b>Tabla 18</b> <i>Gradación de las muestras de ensayo .....</i>	117
<b>Tabla 19</b> <i>Características de los componentes de la mezcla de concreto .....</i>	119
<b>Tabla 20</b> <i>Resistencia promedio requerida.....</i>	119
<b>Tabla 21</b> <i>Agua en kg/m<sup>3</sup>, para los tamaños máximos nominales de los agregados y los asentamientos indicados.....</i>	120
<b>Tabla 22</b> <i>Relación Agua/Cemento, aproximado, en peso para concreto .....</i>	121
<b>Tabla 23</b> <i>Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.....</i>	122
<b>Tabla 24</b> <i>Peso seco de los componentes por metro cúbico del concreto .....</i>	124
<b>Tabla 25</b> <i>Proporciones corregidas de los componentes de la mezcla para 1 m<sup>3</sup> de concreto .....</i>	125

<b>Tabla 26</b> <i>Granulometría de la arcilla de San Jerónimo</i> .....	144
<b>Tabla 27</b> <i>Granulometría de la arcilla de Sicuani</i> .....	145
<b>Tabla 28</b> <i>Granulometría de la arcilla de Huayanay</i> .....	146
<b>Tabla 29</b> <i>Granulometría de la arcilla de Izcuchaca</i> .....	147
<b>Tabla 30</b> <i>Granulometría de la arcilla de Ocongate</i> .....	148
<b>Tabla 31</b> <i>Granulometría de la arcilla de Lamay</i> .....	149
<b>Tabla 32</b> <i>Granulometría de la arcilla de Checacupe</i> .....	150
<b>Tabla 33</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de San Jerónimo</i> .....	152
<b>Tabla 34</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de San Jerónimo</i> .....	153
<b>Tabla 35</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de Sicuani</i> .....	154
<b>Tabla 36</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de Sicuani</i> .....	155
<b>Tabla 37</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de Huayanay</i> .....	156
<b>Tabla 38</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de Huayanay</i> .....	157
<b>Tabla 39</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de Izcuchaca</i> .....	158
<b>Tabla 40</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de Izcuchaca</i> .....	159
<b>Tabla 41</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de Ocongate</i> .....	160
<b>Tabla 42</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de Ocongate</i> .....	161
<b>Tabla 43</b> <i>Cálculo del límite líquido de la arcilla de Lamay</i> .....	162
<b>Tabla 44</b> <i>Cálculo del límite plástico de la arcilla de Lamay</i> .....	163
<b>Tabla 45</b> <i>Composición química principal de los tipos de arcilla estudiadas</i> .....	170
<b>Tabla 46</b> <i>Expansión térmica de arcillas a altas temperaturas – Primera parte</i> .....	175
<b>Tabla 47</b> <i>Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-agregado fino</i> .....	181
<b>Tabla 48</b> <i>Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-agregado grueso de piedra chancada</i> .....	181
<b>Tabla 49</b> <i>Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-arcilla térmicamente expandida</i> .....	182
<b>Tabla 50</b> <i>Peso unitario suelto del agregado fino</i> .....	183
<b>Tabla 51</b> <i>Peso unitario compactado del agregado fino</i> .....	183
<b>Tabla 52</b> <i>Peso unitario suelto de la piedra chancada</i> .....	184
<b>Tabla 53</b> <i>Peso unitario compactado de la piedra chancada</i> .....	184
<b>Tabla 54</b> <i>Peso unitario suelto de la arcilla térmicamente expandida</i> .....	185
<b>Tabla 55</b> <i>Peso unitario compactado de la arcilla térmicamente expandida</i> .....	185
<b>Tabla 56</b> <i>Granulometría del agregado fino de la cantera de Cunyac</i> .....	187
<b>Tabla 57</b> <i>Granulometría de la piedra chancada de la cantera de vicho</i> .....	189

<b>Tabla 58</b>	<i>Granulometría de la arcilla térmicamente expandida</i> .....	191
<b>Tabla 59</b>	<i>Peso específico y absorción del agregado fino</i> .....	193
<b>Tabla 60</b>	<i>Peso específico y absorción de la piedra chancada</i> .....	194
<b>Tabla 61</b>	<i>Peso específico y absorción de la arcilla térmicamente expandida</i> .....	194
<b>Tabla 62</b>	<i>Contenido de humedad del agregado fino</i> .....	195
<b>Tabla 63</b>	<i>Contenido de humedad de la piedra chancada de vicho</i> .....	195
<b>Tabla 64</b>	<i>Contenido de humedad de arcilla térmicamente expandida</i> .....	196
<b>Tabla 65</b>	<i>Granulometría según el tipo de gradación</i> .....	196
<b>Tabla 65</b>	<i>Granulometría según el tipo de gradación</i> .....	197
<b>Tabla 66</b>	<i>Proporciones para 01 m<sup>3</sup> de concreto patrón <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup></i> .....	197
<b>Tabla 67</b>	<i>Diseño por una bolsa de cemento de 42.5 kg de peso</i> .....	198
<b>Tabla 68</b>	<i>Cantidad de concreto necesaria para 24 testigos cilíndricos</i> .....	198
<b>Tabla 69</b>	<i>Cantidad de concreto necesaria para 04 bloques</i> .....	199
<b>Tabla 70</b>	<i>Equivalencia del peso y volumen de arcilla térmicamente expandida que sustituye a la piedra chancada</i> .....	199
<b>Tabla 71</b>	<i>Proporciones para 01 m<sup>3</sup> de concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	200
<b>Tabla 72</b>	<i>Diseño por una bolsa de cemento de 42.5 kg de peso</i> .....	200
<b>Tabla 73</b>	<i>Cantidad de concreto necesaria para 24 testigos cilíndricos</i> .....	200
<b>Tabla 74</b>	<i>Cantidad de concreto necesaria para 04 bloques</i> .....	201
<b>Tabla 75</b>	<i>Asentamiento medido mediante ensayo del cono de Abrams</i> .....	201
<b>Tabla 76</b>	<i>Peso unitario fresco del concreto patrón con piedra chancada</i> .....	202
<b>Tabla 77</b>	<i>Peso unitario fresco del concreto patrón con piedra chancada</i> .....	203
<b>Tabla 78</b>	<i>Resistencia a la compresión a los 07 días de concreto con piedra chancada</i> .....	204
<b>Tabla 79</b>	<i>Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto con piedra chancada</i> .....	206
<b>Tabla 80</b>	<i>Resistencia a la compresión a los 28 días de concreto con piedra chancada</i> .....	208
<b>Tabla 81</b>	<i>Resistencia a la compresión a los 07 días de concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	210
<b>Tabla 82</b>	<i>Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	212
<b>Tabla 83</b>	<i>Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	214
<b>Tabla 84</b>	<i>Costo de elaboración de arcilla térmicamente expandida</i> .....	217
<b>Tabla 85</b>	<i>Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	218
<b>Tabla 86</b>	<i>Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho</i> .....	219

<b>Tabla 87</b> <i>Características de las muestras</i> .....	220
<b>Tabla 88</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 01</i> .....	220
<b>Tabla 89</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 02</i> .....	222
<b>Tabla 90</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 03</i> .....	224
<b>Tabla 91</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 04</i> .....	226
<b>Tabla 92</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 01</i> .....	229
<b>Tabla 93</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 02</i> .....	231
<b>Tabla 94</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 03</i> .....	233
<b>Tabla 95</b> <i>Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 04</i> .....	235
<b>Tabla 96</b> <i>Conductividad térmica de muestras del concreto patrón</i> .....	245
<b>Tabla 97</b> <i>Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida</i> .....	245
<b>Tabla 98</b> <i>Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 0°C</i> .....	247
<b>Tabla 99</b> <i>Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 10°C</i> .....	247
<b>Tabla 100</b> <i>Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 20°C</i> .....	248
<b>Tabla 101</b> <i>Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 0°C</i> .....	249
<b>Tabla 102</b> <i>Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 10°C</i> .....	249
<b>Tabla 103</b> <i>Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 20°C</i> .....	250

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Configuración estructural de la capa tetraédrica y octaédrica de las Arcillas</i> .....	41
<b>Figura 2</b>	.....	44
<b>Figura 3</b>	<i>Ensayo de Cono de Abrams</i> .....	51
<b>Figura 4</b>	<i>Esquema básico del equipo medidor de flujo de calor.</i> .....	53
<b>Figura 5</b>	<i>Diseño de Ingeniería</i> .....	57
<b>Figura 6</b>	<i>Canteras de arcilla en la región Cusco</i> .....	66
<b>Figura 7</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en San Jerónimo, Cusco</i> .....	68
<b>Figura 8</b>	<i>Arcilla de la cantera de arcilla de San Jerónimo, Cusco</i> .....	68
<b>Figura 9</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en Checacupe, Canchis</i> .....	69
<b>Figura 10</b>	<i>Arcilla de la cantera de Checacupe, Canchis, Cusco</i> .....	70
<b>Figura 11</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en Lamay, Calca</i> .....	71
<b>Figura 12</b>	<i>Arcilla de la cantera de Lamay, Calca</i> .....	72
<b>Figura 13</b>	<i>Vista de cantera de arcilla ubicada en Izcuchaca, Anta, Cusco</i> .....	73
<b>Figura 14</b>	<i>Arcilla de Izcuchaca, Anta, Cusco</i> .....	73
<b>Figura 15</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en Sicuani, Canchis</i> .....	74
<b>Figura 16</b>	<i>Arcilla de Sicuani, Canchis, Cusco</i> .....	75
<b>Figura 17</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en Ocongate, Quispicanchi, Cusco</i> .....	76
<b>Figura 18</b>	<i>Arcilla de Ocongate, Quispicanchis</i> .....	76
<b>Figura 19</b>	<i>Vista de la cantera de arcilla ubicada en el CP Huayanay, Santa Ana, La Convención</i> .....	77
<b>Figura 20</b>	<i>Arcilla del CP Huayanay, Santa Ana, La Convención</i> .....	78
<b>Figura 21</b>	<i>Lavado de muestras sobre el tamiz N°200.</i> .....	79
<b>Figura 22</b>	<i>Gradación de muestras de arcilla I</i> .....	79
<b>Figura 23</b>	<i>Gradación de muestras de arcilla II</i> .....	80
<b>Figura 24</b>	<i>Gradación de muestras de arcilla III</i> .....	81
<b>Figura 25</b>	<i>Ensayo de límite líquido de las muestras de arcilla I</i> .....	82
<b>Figura 26</b>	<i>Ensayo de límite líquido de las muestras de arcilla II</i> .....	83
<b>Figura 27</b>	<i>Muestras de arcillas para análisis de composición química</i> .....	84
<b>Figura 28</b>	<i>Ensayo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X</i> .....	84
<b>Figura 29</b>	<i>Horno mufla eléctrico</i> .....	86
<b>Figura 30</b>	<i>Esferas de arcilla antes de la calcinación</i> .....	86
<b>Figura 31</b>	<i>Calcinación de esferas de arcillas estudiadas</i> .....	87

<b>Figura 32</b> Registro de peso y diámetro de esferas de arcilla. ....	88
<b>Figura 33</b> Esferas de arcilla calcinadas. ....	89
<b>Figura 34</b> <i>Estructura interna de la arcilla expandida a diferentes temperaturas.</i> ....	90
<b>Figura 35</b> Muestra de arcilla de Sicuani, calcinada a una temperatura aproximada de 1280°C.....	91
<b>Figura 36</b> Estructura interna de la arcilla expandida a 1255°C y 1280°C .....	91
<b>Figura 37</b> <i>Extracción de materia prima para la elaboración de arcilla térmicamente expandida</i> .....	92
<b>Figura 38</b> <i>Preparación de la arcilla</i> .....	93
<b>Figura 39</b> <i>Pelletización de la arcilla</i> .....	93
<b>Figura 40</b> <i>Redondeo de la arcilla</i> .....	94
<b>Figura 41</b> <i>Producción de esferas de arcilla</i> .....	95
<b>Figura 42</b> <i>Horno estático de tiro invertido</i> .....	96
<b>Figura 43</b> <i>Control de temperatura promedio aproximada en horno</i> .....	97
<b>Figura 44</b> <i>Primera horneada de arcilla</i> .....	98
<b>Figura 45</b> <i>Segunda horneada de arcilla</i> .....	98
<b>Figura 46</b> <i>Arcilla térmicamente expandida tamizada</i> .....	99
<b>Figura 47</b> <i>Arcilla térmicamente expandida mezclada</i> .....	99
<b>Figura 48</b> <i>Lavado del agregado fino mediante vertido de agua</i> .....	101
<b>Figura 49</b> <i>Lavado de la piedra chancada de la cantera de Vicho mediante vertido de agua</i> .....	101
<b>Figura 50</b> <i>Lavado de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco, mediante vertido de agua</i> .....	102
<b>Figura 51</b> <i>Procedimiento para determinar el peso unitario del agregado fino</i> .....	103
<b>Figura 52</b> <i>Procedimiento para determinar el peso unitario de la piedra chancada de la cantera Vicho</i> .....	103
<b>Figura 53</b> <i>Procedimiento para determinar el peso unitario de la arcilla térmicamente expandida</i> .....	104
<b>Figura 54</b> <i>Gradación del agregado fino</i> .....	106
<b>Figura 55</b> <i>Gradación de la piedra chancada de la cantera Vicho</i> .....	108
<b>Figura 56</b> <i>Gradación de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco</i> .....	108
<b>Figura 57</b> <i>Preparación de la muestra de agregado fino para llevarla al estado saturado superficialmente seco (sss)</i> .....	109

<b>Figura 58</b> Colocación del agregado fino en estado sss y agua en el picnómetro .....	110
<b>Figura 59</b> Peso en el aire y agua de la muestra de piedra chancada en estado sss .....	112
<b>Figura 60</b> Colocación de arcilla térmicamente expandida y agua en probeta graduada de 950 ml .....	113
<b>Figura 61</b> Pesos de las cápsulas con las muestras de agregado fino después del horno ...	115
<b>Figura 62</b> Pesos de las cápsulas con las muestras de piedra chancada después del horno	115
<b>Figura 63</b> Pesos de las cápsulas con las muestras de arcilla térmicamente expandida después del horno .....	116
<b>Figura 64</b> Ensayo de abrasión de la piedra chancada de la cantera Vicho.....	117
<b>Figura 65</b> Ensayo de abrasión de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco .....	118
<b>Figura 66</b> Preparación de materiales para la mezcla de concreto.....	126
<b>Figura 67</b> Colocación de concreto en moldes .....	127
<b>Figura 68</b> Bloques y briquetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con piedra chancada de la cantera Vicho.....	128
<b>Figura 69</b> Bloques y briquetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con arcilla térmicamente expandida. ....	128
<b>Figura 70</b> Desmoldaje de especímenes .....	129
<b>Figura 71</b> Curado de bloques y briquetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con piedra chancada de la cantera Vicho y concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ con arcilla térmicamente expandida. ....	130
<b>Figura 72</b> Asentamiento de la mezcla de concreto con piedra chancada para bloques. ....	131
<b>Figura 73</b> Asentamiento de la mezcla de concreto con piedra chancada para briquetas. .	131
<b>Figura 74</b> Asentamiento de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para bloques .....	132
<b>Figura 75</b> Asentamiento de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para briquetas .....	132
<b>Figura 76</b> Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con piedra chancada para bloques .....	133
<b>Figura 77</b> Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con piedra chancada para briquetas.....	133
<b>Figura 78</b> Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para bloques .....	134
<b>Figura 79</b> Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para briquetas.....	134

<b>Figura 80</b> <i>Preparación de testigos cilíndricos</i> .....	135
<b>Figura 81</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión</i> .....	135
<b>Figura 82</b> <i>Preparación de testigos cilíndricos</i> .....	136
<b>Figura 83</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión</i> .....	136
<b>Figura 84</b> <i>Preparación de muestras cilíndricas</i> .....	137
<b>Figura 85</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión</i> .....	137
<b>Figura 86</b> <i>Preparación de las briquetas de concreto patrón para siete días</i> .....	138
<b>Figura 87</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión axial</i> .....	138
<b>Figura 88</b> <i>Preparación de los testigos cilíndricos</i> .....	139
<b>Figura 89</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión</i> .....	139
<b>Figura 90</b> <i>Preparación de testigos cilíndricos</i> .....	140
<b>Figura 91</b> <i>Briquetas ensayadas a compresión</i> .....	140
<b>Figura 92</b> <i>Equipo de conductividad térmica</i> .....	141
<b>Figura 93</b> <i>Bloques de concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> de 30cm x 30cm x 2.54cm</i> .....	142
<b>Figura 94</b> <i>Ensayo de conductividad térmica de bloques de concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	142
<b>Figura 95</b> <i>Ensayo de conductividad térmica de concreto patrón con piedra chancada de la cantera Vicho</i> .....	143

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Sicuani</i> .....	145
<b>Gráfica 2</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Huayanay</i> .....	147
<b>Gráfica 3</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Izcuchaca</i> .....	148
<b>Gráfica 4</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Ocongate</i> .....	149
<b>Gráfica 5</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Lamay</i> .....	150
<b>Gráfica 6</b> <i>Curva granulométrica de la arcilla de Checacupe</i> .....	151
<b>Gráfica 7</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	152
<b>Gráfica 8</b> <i>Valor promedio del límite plástico de la arcilla de San Jerónimo</i> .....	153
<b>Gráfica 9</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	154
<b>Gráfica 10</b> <i>Valor promedio del límite plástico de la arcilla de Sicuani</i> .....	155
<b>Gráfica 11</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	156
<b>Gráfica 12</b> <i>Valor promedio del límite plástico de la arcilla de Huayanay</i> .....	157
<b>Gráfica 13</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	158
<b>Gráfica 14</b> <i>Valor promedio del límite plástico de Izcuchaca</i> .....	159
<b>Gráfica 15</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	160
<b>Gráfica 16</b> <i>Valor promedio del límite plástico de Ocongate</i> .....	161
<b>Gráfica 17</b> <i>Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo</i> .....	162
<b>Gráfica 18</b> <i>Valor promedio del límite plástico de Lamay</i> .....	163
<b>Gráfica 19</b> <i>Caracterización de la arcilla de San Jerónimo en la carta de plasticidad</i> .....	164
<b>Gráfica 20</b> <i>Caracterización de la arcilla de Sicuani en la carta de plasticidad</i> .....	165
<b>Gráfica 21</b> <i>Caracterización de la arcilla de Huayanay en la carta de plasticidad</i> .....	166
<b>Gráfica 22</b> <i>Caracterización de la arcilla de Izcuchaca en la carta de plasticidad</i> .....	167
<b>Gráfica 23</b> <i>Caracterización de la arcilla de Ocongate en la carta de plasticidad</i> .....	168
<b>Gráfica 24</b> <i>Caracterización de la arcilla de Lamay en la carta de plasticidad</i> .....	169
<b>Gráfica 25</b> <i>Composición química de la arcilla de San Jerónimo</i> .....	171
<b>Gráfica 26</b> <i>Composición química de la arcilla de Checacupe</i> .....	171
<b>Gráfica 27</b> <i>Composición química de la arcilla de Lamay</i> .....	172
<b>Gráfica 28</b> <i>Composición química de la arcilla de Sicuani</i> .....	172
<b>Gráfica 29</b> <i>Composición química de la arcilla de Izcuchaca</i> .....	173
<b>Gráfica 30</b> <i>Composición química de la arcilla de Ocongate</i> .....	173
<b>Gráfica 31</b> <i>Composición química de la arcilla de Huayanay</i> .....	174

<b>Gráfica 32</b> Cambio volumétrico de la arcilla de San Jerónimo en función de la temperatura de calcinación .....	177
<b>Gráfica 33</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Checacupe en función de la temperatura de calcinación .....	177
<b>Gráfica 34</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Lamay en función de la temperatura de calcinación .....	178
<b>Gráfica 35</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Izcuchaca en función de la temperatura de calcinación .....	178
<b>Gráfica 36</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Sicuani en función de la temperatura de calcinación .....	179
<b>Gráfica 37</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Huayanay en función de la temperatura de calcinación .....	179
<b>Gráfica 38</b> Cambio volumétrico de la arcilla de Ocongate en función de la temperatura de calcinación .....	180
<b>Gráfica 39</b> <i>Curva granulométrica del agregado fino</i> .....	188
<b>Gráfica 40</b> <i>Curva granulométrica de la piedra chancada</i> .....	190
<b>Gráfica 41</b> Curva granulométrica de la arcilla térmicamente expandida .....	192
<b>Gráfica 42</b> <i>Asentamiento de concreto por cada tipo de agregado utilizado</i> .....	202
<b>Gráfica 43</b> <i>Resistencia obtenida a los 07 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	205
<b>Gráfica 44</b> <i>Resistencia obtenida a los 14 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	207
<b>Gráfica 45</b> <i>Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	209
<b>Gráfica 46</b> <i>Resistencia obtenida a los 07 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	211
<b>Gráfica 47</b> <i>Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	213
<b>Gráfica 48</b> <i>Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener</i> .....	215
<b>Gráfica 49</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 01</i> .....	221
<b>Gráfica 50</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 01</i> .....	221
<b>Gráfica 51</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 01</i> .....	222
<b>Gráfica 52</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 02</i> .....	223
<b>Gráfica 53</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 02</i> .....	223
<b>Gráfica 54</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 02</i> .....	224
<b>Gráfica 55</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 03</i> .....	225
<b>Gráfica 56</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 03</i> .....	225
<b>Gráfica 57</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 03</i> .....	226
<b>Gráfica 58</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 04</i> .....	227

<b>Gráfica 59</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 04</i> .....	228
<b>Gráfica 60</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 04</i> .....	228
<b>Gráfica 61</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 01</i> .	230
<b>Gráfica 62</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 01</i> .....	230
<b>Gráfica 63</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 01</i> .....	231
<b>Gráfica 64</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 02</i> .	232
<b>Gráfica 65</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 02</i> .....	232
<b>Gráfica 66</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 02</i> .....	233
<b>Gráfica 67</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 03</i> .	234
<b>Gráfica 68</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 03</i> .....	234
<b>Gráfica 69</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 03</i> .....	235
<b>Gráfica 70</b> <i>Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 04</i> .	236
<b>Gráfica 71</b> <i>Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 04</i> .....	236
<b>Gráfica 72</b> <i>Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 04</i> .....	237
<b>Gráfica 73</b> <i>Comparativa de peso unitario fresco entre ambos tipos de concreto</i> .....	240
<b>Gráfica 74</b> <i>Evolución de la resistencia a la compresión del concreto con piedra chancada</i>	242
<b>Gráfica 75</b> <i>Evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla térmicamente expandida</i> .....	242
<b>Gráfica 76</b> <i>Comparativa de las resistencias obtenidas y la resistencia requerida</i> .....	243
<b>Gráfica 77</b> <i>Conductividad térmica a las temperaturas de 0°C, 10°C y 20°C</i> .....	246
<b>Gráfica 78</b> <i>Variación de la conductividad térmica del concreto patrón a 0°C, 10°C y 20°C</i> .....	248
<b>Gráfica 79</b> <i>Variación de la conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 0°C, 10°C y 20°C</i> .....	250

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal elaborar arcilla térmicamente expandida en la región de Cusco y determinar su influencia en el peso unitario, conductividad térmica y resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  al utilizarla como sustituto de la piedra chancada, convencionalmente usada como agregado grueso. Se trabajó con una metodología de enfoque cuantitativo correlacional y el diseño metodológico utilizado fue el experimental. Esta investigación se dividió en dos partes, la primera parte se enfocó en la elaboración de arcilla térmicamente expandida, donde se realizó un estudio de canteras de arcilla en la región Cusco, se estudió la composición química de las muestras de dichas arcillas y se sometieron a diferentes temperaturas en un horno mufla eléctrico, con el fin de determinar la arcilla con mejores características de expansión y la temperatura de sinterización que da como resultado arcilla térmicamente expandida ligera y a la vez resistente. La arcilla elegida fue la de Sicuani, Canchis, Cusco y la temperatura aproximada de calcinación fue  $1255^\circ\text{C}$ . La segunda parte de esta investigación la constituyen los ensayos realizados a especímenes de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con arcilla térmicamente expandida, comparados con un concreto patrón elaborado con piedra chancada de la cantera de Vicho. Se determinó que el peso unitario del concreto en estado fresco disminuyó en un 32.62%, la conductividad térmica disminuyó en promedio un 39.43% y la resistencia se redujo en un 13.49%; sin embargo, la resistencia alcanzada fue de  $211.59 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliendo con la resistencia de diseño, por lo que se concluye que, se puede utilizar la arcilla térmicamente expandida para elaborar concreto estructural ligero con un bajo coeficiente de conductividad térmica, pudiendo utilizarse también en tabiquería.

Palabras clave: Arcilla térmicamente expandida, concreto ligero, conductividad térmica, concreto estructural, composición química de arcillas.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to produce thermally expanded clay in the Cusco region and determine its influence on the unit weight, thermal conductivity and compressive strength of concrete  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  when using it as a substitute for crushed stone, conventionally used as coarse aggregate. We worked with a quantitative correlational approach methodology and the methodological design used was experimental.

This research was divided into two parts, the first part focused on the production of thermally expanded clay, where a study of clay quarries in the Cusco region was carried out, the chemical composition of the samples of said clays was studied and they were subjected to different temperatures in an electric muffle furnace in order to determine the clay with the best expansion characteristics and the sintering temperature that results in light yet resistant thermally expanded clay. The clay chosen was that of Sicuani, Canchis, Cusco and the approximate calcination temperature was  $1255^\circ\text{C}$ .

The second part of this investigation consists of the tests carried out on concrete specimens  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  with thermally expanded clay, compared with a pattern concrete made with crushed stone from the Vicho quarry. It was determined that the unit weight of the concrete decreased by 32.62%, the thermal conductivity decreased on average by 39.43% and the resistance decreased by 13.49%; However, the resistance achieved was  $211.59 \text{ kg/cm}^2$ , complying with the design resistance, so it is concluded that thermally expanded clay can be used to make light structural concrete with a low coefficient of thermal conductivity, and can also be used in partition.

Keywords: Thermally expanded clay, lightweight concrete, thermal conductivity, structural concrete, chemical composition of clays in the Cusco region.

## INTRODUCCIÓN

La construcción en la ingeniería civil es un área que demanda cantidades considerables de concreto, ya que este material es por excelencia el que ofrece las mejores características de resistencia, durabilidad y accesibilidad a la hora de construir. Sin embargo, algunas de estas características son susceptibles a cambiar en función a la calidad de los componentes que son incorporados en su producción, este es el caso del agregado grueso, que es parte fundamental en la elaboración del concreto. La mayoría de los agregados gruesos utilizados son de origen pétreo proveniente de la trituración de rocas que posean las características necesarias para ser considerado como aptas para la elaboración de concreto. Existen también agregados de origen artificial provenientes de procesos de sinterización o algún tipo de tratamiento térmico, como es el caso de la arcilla térmicamente expandida, que es fabricada a través de la sinterización de la arcilla a elevadas temperaturas que oscilan entre los 110 °C y 1300 °C. Como producto final se obtiene un material ligero, con una capa exterior que le confiere dureza y un interior poroso que le proporciona ligereza; siendo también, gracias a su porosidad, un material aislante térmico y acústico.

En esta investigación, se llevó a cabo un estudio del proceso de elaboración de arcilla térmicamente expandida, analizando las características que debe poseer una arcilla para lograr elaborar este material, se realizó un estudio de las canteras de arcilla que existen en la región Cusco y se procedió con el análisis químico de sus componentes, para posteriormente someter sinterización a diferentes temperaturas con el objetivo de determinar la arcilla con los mejores resultados de expansión. En función a estas características se establecerá el proceso de fabricación. Al obtener el material, se desarrolla una comparación entre las características que le

confiere al concreto al sustituir el agregado grueso convencional para analizar las variaciones en sus propiedades estableciendo sus ventajas y desventajas.

El análisis de los resultados obtenidos proporcionará información útil y práctica que sirvan de base para más estudios y, de ser posible la inserción de este tipo de materiales en el campo de la construcción ya que puede ofrecer múltiples ventajas, favoreciendo los procesos y resultados a la hora de realizar una construcción.

Para el desarrollo de esta investigación, se organizó en seis capítulos.

CAPÍTULO I: En este capítulo se explica los aspectos básicos de la investigación conformados por la realidad problemática, la identificación y formulación del problema, los objetivos, la justificación de la investigación, la delimitación y la viabilidad de la investigación.

CAPÍTULO II: El capítulo contiene los fundamentos y bases teóricas, así como los antecedentes; que son el sustento de la investigación en base a una revisión bibliográfica.

CAPÍTULO III: Consta de las hipótesis de la investigación, el método, el tipo, el nivel y diseño de investigación, la determinación de la población, la muestra y el muestreo. En este capítulo se plasma la recolección de datos a través de las técnicas de recolección.

CAPÍTULO IV: Corresponde a los resultados. En este capítulo se tratan los resultados obtenidos en la investigación a través de los diferentes ensayos realizados.

CAPÍTULO V: Referido al análisis y discusión de los resultados, en este se realizan comparaciones y análisis entre los materiales patrón y el planteado.

CAPÍTULO VI: Está conformado por las conclusiones y recomendaciones de la investigación que se explican en base a los capítulos anteriores.

Finalmente, se presentan las referencias que se utilizaron en el desarrollo de la investigación, así como los anexos correspondientes al estudio.

## CAPÍTULO I

### **Realidad Problemática**

En construcción, la demanda del concreto es indudablemente una de las más altas, esto se debe a que ofrece elevados valores de resistencia a la compresión, adaptabilidad a formas, durabilidad, accesibilidad, entre otras buenas propiedades; sin embargo, también se caracteriza por su altos valores de peso específico, lo que incrementa el peso de la carga muerta de la estructura y altos valores de conductividad térmica, lo que hace que, las estructuras no brinden el confort térmico adecuado para el usuario.

El concreto convencional está conformado por cemento, agregado grueso, agregado fino y agua, en proporciones definidas por un diseño obtenido en función a las exigencias de cada aplicación. Los agregados, también llamados áridos, son partículas de origen natural o artificial, que pueden haber sido tratadas o elaboradas (NTP N° 400.037). Estos componen en gran parte el volumen del concreto, por lo que influyen directamente en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco, como en estado endurecido.

En Perú, se utiliza mayormente agregados naturales, la arena como agregado fino y la piedra chancada, como agregado grueso; esto se debe a su abundancia en ciertas zonas y sus bajos precios. No obstante, en la selva peruana resulta difícil encontrar agregados gruesos de buena calidad, por lo que es común utilizar hormigón (mezcla de arena y canto rodado) en la fabricación de concreto; la forma redondeada de las piedras hace que la adherencia entre estas y la pasta de cemento, agua y arena sea muy baja, por lo que, no es recomendable para su uso en concretos estructurales.

Por otro lado, los friajes son una problemática latente en el país, se estima que más de seis millones de peruanos, ubicados en la zona de la sierra, sufren por la exposición prolongada a

temperaturas extremadamente bajas en ciertas temporadas del año, hecho que afecta a la salud, principalmente, de la población infantil y de edad avanzada por las enfermedades respiratorias que ocasionan, incrementando así, los índices de mortalidad. (Huaman, 2010). Asimismo, existen zonas en el país donde el calor es excesivo, estos factores hacen que sea complicado lograr un confort térmico para el usuario en las edificaciones, generando así la necesidad de indagar alternativas de solución como los sistemas de calefacción y ventilación.

Sin embargo, el impacto ambiental causado por la alta demanda de energía utilizada en sistemas de calefacción y ventilación en edificaciones es muy alto, en algunos casos se utilizan energías no renovables indispensables para el desarrollo de algunos países que no pueden abastecerse por sí mismos de energía; es por eso que existe la obligación de optimizar la utilización de estos recursos para requerir cada vez menos de dichas energías no renovables sin perjudicar en el confort del usuario. (Correa Álvarez y otros, 2016). Además, en la última década se ha observado como ha ido incrementando el precio, tanto de la energía eléctrica, como del gas, provocando así una notable inestabilidad económica en toda la población, que se hace evidente en los sectores más vulnerables. (Castillo Quimis y otros, 2019)

Con el fin de satisfacer todas estas necesidades, se han desarrollado nuevas tecnologías para la fabricación de materiales que permitan sustituir al agregado grueso convencional, algunos de estos materiales son los agregados ligeros artificiales, como la arcilla expandida que, por su bajo peso específico y buena resistencia, se ha posicionado como la más utilizada en distintos países del mundo. (Martínez Pineda, 2010). Además, se ha demostrado que al sustituir el agregado grueso por este material se logran altos valores de aislamiento térmico en el concreto. (Baquero Sanabria y otros, 2019). Sin embargo, en Perú, la accesibilidad a este material es reducida, ya que no se fabrica en ninguna de sus regiones.

## **Identificación y Formulación del Problema**

El uso de concreto de peso normal (concreto convencional) en las construcciones de la región Cusco, hace que los valores de carga muerta de las estructuras sean altos y, por lo tanto, elevan las dimensiones de los elementos estructurales, esto encarece la construcción de edificaciones, ya que se requiere mayor cantidad de acero y concreto. Asimismo, este concreto posee alta conductividad térmica, por lo que no ofrece el confort térmico adecuado al usuario.

Por otro lado, según el Instituto nacional de estadística e informática (INEI), el 41% del territorio de la región Cusco es selva, todo este territorio se ve afectado por el limitado acceso a agregado grueso de buena calidad, que se traduce en menor vida útil de las edificaciones.

Las razones expuestas líneas arriba, hacen necesaria la aplicación de la tecnología de materiales existente, que propone el uso de agregados ligeros artificiales, como la arcilla térmicamente expandida, que ha demostrado mejorar el aislamiento térmico, reducir el peso, sin afectar considerablemente la resistencia a la compresión del concreto; sin embargo, este material es escaso en nuestro país, porque a pesar de tener la materia prima, no se produce; por todas las razones expuestas, esta investigación propone los siguientes problemas.

### ***Problema General***

¿Es posible elaborar arcilla térmicamente expandida en la región Cusco y cuál es su influencia en el peso unitario, conductividad térmica y resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  al utilizarse como agregado grueso?

### ***Problemas Específicos***

- ¿Cómo influye la composición química de las arcillas en su expansión térmica?
- ¿De qué manera influye la temperatura de calcinación en la expansión térmica de las arcillas?

- ¿Cuáles son los valores de la conductividad térmica, peso unitario y resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como agregado grueso?
- ¿Cuánto cuesta producir un m<sup>3</sup> de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco?

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Elaborar arcilla térmicamente expandida en la región Cusco y analizar su influencia en el peso unitario, conductividad térmica y resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizarse como agregado grueso.

### ***Objetivos Específicos***

- Determinar la composición química de las arcillas y analizar su influencia en la expansión térmica.
- Determinar la variación de volumen y densidad de las arcillas estudiadas al someterlas a pruebas de expansión térmica a altas temperaturas de calcinación.
- Cuantificar, mediante ensayos de laboratorio, la conductividad térmica, peso unitario y resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como agregado grueso.
- Determinar el costo de producción del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como agregado grueso.

## **Justificación de la Investigación.**

### ***Justificación Práctica***

La presente tesis de investigación propuso elaborar arcilla térmicamente expandida en la región de Cusco, para poder analizar su influencia en la resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  al utilizarla como agregado grueso. Esta es una alternativa de solución utilizada en otros países, ya que ha demostrado un buen desempeño al utilizarse en el concreto, aligerándolo, mejorando su aislamiento térmico, sin afectar significativamente su resistencia a la compresión; además, su bajo peso unitario permite su abastecimiento a lugares donde no es posible abastecer de piedra chancada, debido a que su transporte resulta más económico, pretendiendo así beneficiar a todo el país, pero de manera más directa a la región Cusco, de donde se extrajeron las arcillas para realizar la investigación, que en un futuro cercano, podrían servir de materia prima para la producción masiva de este material, mejorando así su economía y generando trabajo para sus habitantes.

### ***Justificación Metodológica***

En la presente investigación se hizo uso del equipo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) para conocer la composición química de las arcillas de siete canteras en la región de Cusco, dicho ensayo se realizó en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería química. El ensayo de conductividad térmica del concreto se realizó utilizando el medidor de flujo de calor HFM-100 del laboratorio de la escuela profesional de Física; los ensayos de resistencia a la compresión y peso unitario del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la facultad de ingeniería civil. Todos los laboratorios mencionados, se encuentran en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

### ***Justificación Teórica***

Esta investigación contribuye con importante información acerca de la composición química de las arcillas extraídas de las diferentes canteras de la región Cusco, así como de su comportamiento al someterse a altas temperaturas, dicha información nos da un panorama más amplio acerca de los posibles usos que se le puede dar a cada una de dichas arcillas, ya sea en la industria ladrillera, cerámica u otros. Adicionalmente, representa un gran aporte a la tecnología de materiales que se posee actualmente en la región Cusco, ya que, se recopiló información de la resistencia a la compresión, el peso unitario y conductividad térmica del concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como agregado grueso; esta información permite determinar las posibles aplicaciones de este agregado artificial, ya sea en elementos estructurales o no estructurales (entrepisos, tabiquería, cubiertas, etc.).

### **Delimitación de la Investigación**

#### ***Espacial***

La totalidad de la presente investigación se desarrolló en la región Cusco y consta de un estudio de canteras realizado, más específicamente, en los distritos de San Jerónimo (Cusco), Izcuchaca (Anta), Sicuani (Canchis), Santa Ana (La Convención), Checacupe (Canchis), Lamay (Calca) y Ocongate (Quispicanchi).

#### ***Temporal***

Esta investigación se desarrolló en su totalidad, entre diciembre del año 2023 y junio del 2024; la elaboración de arcilla térmicamente expandida se realizó durante los tres primeros meses de investigación y en los posterior cuatro meses, se efectuó el análisis de la resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica del concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> utilizando la arcilla térmicamente expandida como agregado grueso.

### ***Social***

Esta investigación abarca la totalidad de la región Cusco, presumiendo así un impacto social en un total de 1 206 millones de personas (Censo 2017, INEI).

### ***Conceptual***

En la presente tesis de investigación se efectuó una prueba de conductividad térmica al concreto, basada en la normatividad de la Sociedad Estadounidense para pruebas de materiales (ASTM C518) y los demás ensayos realizados durante la investigación están basados en el “Manual de Ensayos de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, así como en la Normativa del Instituto Americano del Concreto (ACI). Además, se realizó el ensayo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) para conocer la composición química de las arcillas de las canteras a estudiar.

### **Viabilidad de la Investigación**

#### ***Económica***

El presupuesto total de la tesis de investigación fue cubierto por los presentes tesistas, este presupuesto incluye el alquiler de equipos necesarios en la investigación, con los que la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco no cuenta dentro de sus laboratorios.

#### ***Social***

El estudio de canteras se realizó en zonas donde la arcilla ya es explotada (San Jerónimo, Anta-Izcuchaca, Sicuani) o con potencialidad de explotación (Santa Ana, Ocongate, Checacupe), dichas zonas se encuentran muy poco pobladas, por lo que es viable socialmente.

#### ***Técnica***

Se tuvo acceso total a los equipos y bases teóricas necesarias para la elaboración de arcilla térmicamente expandida como espectroscopio de fluorescencia de rayos X (XRF), horno

mufla de altas temperaturas, equipos para analizar la resistencia a compresión, conductividad térmica y demás ensayos necesarios, por lo que se concluye que es viable técnicamente.

### ***Limitaciones***

- En la región de Cusco existen muchas variedades de arcillas en diferentes canteras, pero considerando la accesibilidad a estas canteras, se consideraron solo siete de ellas, ubicadas en los distritos de: San Jerónimo (Cusco), Izcuchaca (Anta), Sicuani (Canchis), Santa Ana (La Convención), Checacupe (Canchis), Lamay (Calca) y Ocongate (Quispicanchi), siendo un total de siete tipos de arcilla.
- En la región de Cusco no se cuenta con hornos rotatorios o parrillas móviles, que son los equipos ideales para elaboración de arcilla térmicamente expandida de manera industrial, por lo que se utilizó un horno estático de tiro invertido.
- No se realizaron adiciones a la arcilla al momento de la elaboración de arcilla térmicamente expandida.
- El diseño de mezcla del concreto fue  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- La incorporación de la arcilla térmicamente expandida en el concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  se realizó como sustituto del agregado grueso convencional (piedra chancada) en su totalidad.
- Se utilizó piedra chancada de la cantera Vicho como agregado grueso para el concreto patrón.
- Para la mezcla de ambos tipos de concreto se utilizó cemento Yura tipo IP, arena de la cantera de Cunyac como agregado fino y agua potable.
- Las propiedades del concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  estudiadas fueron las siguientes: peso unitario en estado fresco, resistencia a la compresión y conductividad térmica.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### Antecedentes de Investigación

#### *A Nivel Internacional*

(Albán y Utreras, 2020), presentan la tesis de pregrado respecto a la incidencia del uso de arcilla expandida al elaborar hormigón alivianado, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, optando por el título de Ingeniero Civil; dichos autores utilizaron el diseño experimental, teniendo como población 96 briquetas y 48 viguetas, dichas briquetas y viguetas fueron diseñadas con distintas relaciones agua/cemento, aumentando volúmenes de agua de acuerdo a los porcentajes de arcilla expandida añadida. Como resultado se obtuvo una pérdida del 30.87% en su resistencia a la compresión y 5.34% de la masa, al reemplazar un 30% de agregado fino por arcilla expandida, para una relación agua cemento de 0.445, una disminución del 27.75% de la resistencia a la compresión y 6.92% de la masa, al reemplazar un 30% de agregado fino por arcilla expandida para una relación agua cemento de 0.494 y finalmente una disminución del 24.5% de la resistencia a la compresión y 7.21% de la masa, al reemplazar un 30% de agregado fino por arcilla expandida, para una relación agua cemento de 0.53. Por lo que se concluye que la arcilla expandida puede ser utilizada como agregado ligero para concretos no estructurales.

(Suarez Walsh, 2019), presenta como tesis de pregrado la aplicación de arcilla expandida como reemplazo del agregado grueso en el diseño de mezcla de concretos estructurales livianos, a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil para obtener el título de Ingeniera Civil. En dicha tesis se utilizó el diseño experimental, la población fue de 48 testigos cilíndricos y de 14 bloques, los cuales fueron diseñados con diferentes proporciones de agregado grueso, agregado fino y arcilla expandida para después someterlos a ensayos de compresión y flexión,

respectivamente, y encontrar la proporción que diera como resultado la resistencia más óptima, tanto a compresión, como a flexión, dicha proporción fue 10% arcilla expandida, 60% agregado fino y 30% de agregado grueso, la cual logró una resistencia a la compresión de 221 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de fraguado y una resistencia a la flexión de 3.42 MPa, también a los 28 días. Por lo que se concluye que la arcilla expandida se encuentra dentro de los rangos de especificaciones de la normatividad ASTM, para utilizarse como agregado ligero en el concreto.

### *A Nivel Nacional*

(Baquero et al., 2019) presentan una investigación acerca del análisis de arcilla expandida y piedra pómez como sustituto de los agregados en la elaboración de concreto ligero para la Revista de Ingeniería y Desarrollo, en dicha investigación se utilizó el diseño experimental y se tuvo una población de 24 briquetas, en 12 de ellas se humedecieron la arcilla expandida y la piedra pómez, mientras que en las 12 briquetas restantes se utilizaron secas. Se tuvo como resultado una disminución de resistencia del 12.6% a los 28 días al humedecer los agregados ligeros durante 24 horas, respecto a la mezcla donde se mantuvieron secos; al comparar estos con una mezcla tradicional de concreto, se tiene una reducción de casi el 40% en la densidad, pero a su vez una disminución del casi 30% respecto a la resistencia a la compresión, también se tuvieron 2 placas que se sometieron a pruebas térmicas, 1 de concreto convencional y otra del concreto ligero, donde se demostró un incremento del 20% de aislamiento térmico al utilizar agregados ligeros en el concreto. Es por eso que se concluye que, el reemplazo de agregados gruesos por agregados ligeros como la arcilla expandida y la piedra pómez es factible, ya que permite alcanzar valores aceptables de resistencia y mejora sus propiedades térmicas.

(Quispe y Vera, 2018) presentaron la tesis de pregrado sobre la utilización de la arcilla expandida como agregado grueso en concreto estructural liviano, a la Universidad de San Martín

de Porres, donde utilizaron el diseño experimental y una población de 72 briquetas, en 38 de ellas se consideró la densidad de la arcilla expandida en estado seco y en 34 de ellas, en estado sumergido superficialmente seco. Al evaluar el peso unitario, se obtuvieron valores menores a  $1800 \text{ kg/m}^3$ , que es el valor máximo de peso unitario de concreto ligero, además los valores de resistencia a la compresión para diferentes dosificaciones resultaron aceptables para ser considerados estructurales (21.08 MPa - 36.67 MPa) y sus valores de resistencia a la flexión (2.82 MPa), superaron el valor mínimo teórico (2.42 MPa). Es así que se llegó a la conclusión que, la utilización de arcilla expandida como agregado grueso en el concreto ligero es viable; además se observó una disminución del peso unitario y resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida en estado saturado superficialmente seco, respecto al concreto elaborado con arcilla expandida en estado seco.

(Andrade y Becerra, 2022) presentaron la tesis de investigación acerca de la incidencia del uso de arcilla expandida y aserrín en las propiedades físico mecánicas del concreto utilizado en la construcción de viviendas en Trujillo, La Libertad, a la Universidad César Vallejo, donde utilizaron el diseño experimental y tuvieron una población de 84 briquetas elaboradas con diferentes porcentajes de adición de arcilla expandida y aserrín, al evaluar la resistencia a la compresión de estas, la dosificación con resultado más cercano a la muestra patrón fue la de 0.5% de aserrín y 1.5% de arcilla expandida, obteniendo una resistencia de  $178.78 \text{ kg/cm}^2$ , disminuyendo así en 22.5% de la resistencia patrón, también se obtuvo una disminución en 6% del peso unitario. Es así que se concluye que el uso de la arcilla expandida y aserrín en el concreto disminuyen sus propiedades de resistencia en un 22.5% y de peso unitario en un 6%.

## **Bases Teóricas**

### ***Las Arcillas***

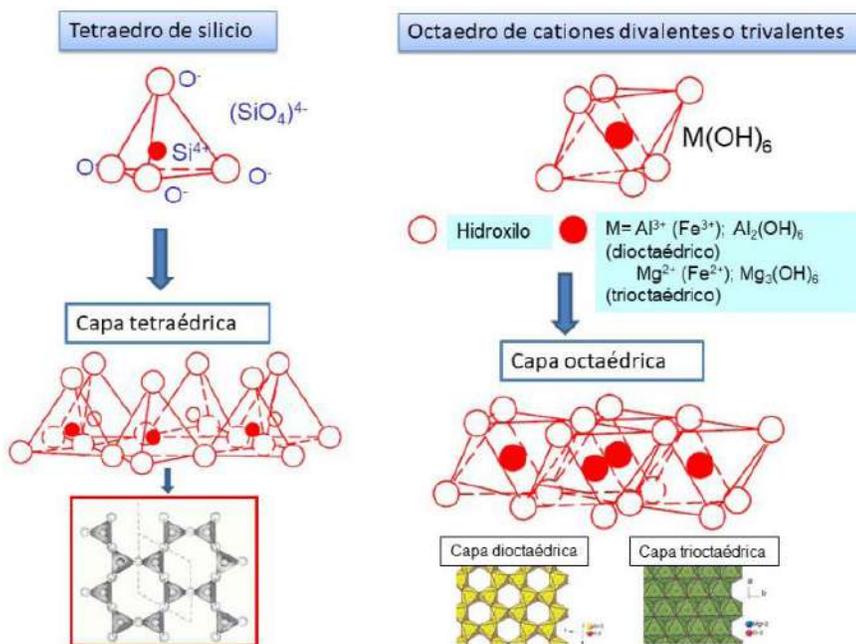
La arcilla como término, suele usarse con diferentes significados, dependiendo del punto de vista de su análisis y su estudio. Desde una concepción mineralógica la arcilla engloba a un grupo de minerales, en su mayor parte filosilicatos, que en función de su estructura y su tamaño presentaran propiedades físico-químicas particulares. Desde un análisis petrológico la arcilla viene a ser una roca sedimentaria y abarca los sedimentos con tamaño de grano menor a los 2mm. Por otro lado, bajo el análisis de un ceramista viene a ser un material de origen natural que, al incorporar agua para su mezcla, tiene una gran plasticidad y una muy buena facilidad de moldeo. Desde un análisis aplicativo y económico se puede decir que las arcillas poseen distintas propiedades con amplias aplicaciones en las diferentes industrias y una de las principales es la construcción. (García Romero & Suárez Barrios, 2012)

**Características Mineralógicas.** La mayoría de las arcillas tienen una formación sedimentaria, esto quiere decir que no se forman en el mismo lugar del depósito. Por esta misma razón sus partículas minerales se forman condicionadas por la temperatura y la salinidad del agua en el proceso de formación de los depósitos de arcilla. Las arcillas están fundamentalmente constituidas por filosilicatos. Estos filosilicatos están compuestos de una estructura cristalina conformada de una cadena de oxígenos con formaciones organizadas en capas tetraédricas y octaédricas. La unión de una capa tetraédrica y una capa octaédrica permitirá la formación del mineral tipo caolinita, por otro lado, si la unión está conformada por dos capas tetraédricas y una capa octaédrica de manera alternada, se dará lugar a la formación de montmorillonita. La formación de distintos grupos minerales también está condicionada por la estructura cristalina de los mismos minerales, dando lugar a los grupos de caolinita, montmorillonita, paligorskita, illita

y clorita. Además de estos grupos, existen minerales con una estructura mixta con estratos que cuentan con dos o más componentes típicos. (Linares y otros, 1983)

### Figura 1

Configuración estructural de la capa tetraédrica y octaédrica de las Arcillas



*Nota.* El grafico representa la configuración molecular de las capas de los fosfosilicatos.

Fuente: (Enseñanzas de las ciencias de la tierra, 2018)

### Arcillas Térmicamente Expandidas

Son gránulos que tienen diferentes tamaños con una forma aproximadamente redondeada, producida a partir de una clase especial de arcillas. La expansión del tipo adecuado de arcillas se lleva a cabo a elevadas temperaturas, aproximadamente entre  $1100^\circ\text{C}$  y  $1300^\circ\text{C}$ , dando a lugar una característica expansión entre un 20% y 400% veces su tamaño inicial, esto se produce debido a la combustión de gases internos. Una característica importante de los tipos de arcilla con potencial de expansión es que el contenido de cuarzo se encuentra por debajo del 30%. La arcilla térmicamente expandida tiene una forma esférica o con formas aproximadamente esféricas con un recubrimiento o una capa sinterizada y cerrada, con poca presencia de poros y

en la mayoría de veces se encuentra vitrificada; por otro lado, el interior tiene por lo general un color negro producto de la calcinación y una estructura bastante porosa, lo que le confiere la ligereza característica de este material. La elección de la arcilla para producir su expansión está ligada a su composición química y a su composición mineralógica. (Martínez Pineda, 2010)

### ***Principales Características de la Arcilla Expandida***

- Presenta una buena resistencia mecánica.
- Tiene una baja densidad que le confiere ligereza.
- Posee una alta porosidad.
- Presenta una superficie rugosa.
- Forma regularmente redondeada.
- Es un material con propiedad de aislamiento térmico.
- Alta resistencia al fuego.
- Es duradero, no se corroe ni se descompone con facilidad.
- No produce desprendimiento de gases.

### ***Elección de la Arcilla***

Para elegir una arcilla adecuada para su proceso de expansión es importante tomar en consideración su composición química y composición mineralógica, ya que en función a estas características se generan un perfil de arcilla con capacidad de expansión.

**Composición Química.** Para obtener una arcilla expandida, es necesario la obtención de una fase fundida que sea capaz de encerrar gases, por ello se tienen restricciones al momento de elegir el material. Principalmente se analizan los contenidos de sílice, alúmina y la presencia de fundentes como son la cal, el óxido de hierro, álcalis y magnesia; la presencia de estos componentes debe estar dentro de ciertos límites, fuera de los cuales la arcilla seleccionada no

tendría la capacidad de expandir de forma natural, o no sería capaz de fundir a una temperatura lo suficientemente baja, o la viscosidad que presente sería insuficiente para encerrar los gases generados en la fusión. (Martínez Pineda, 2010)

Para el estudio de la composición química, se toma como base las investigaciones de Riley y Conley (1948), quienes determinaron un diagrama triangular en el cual proponen la delimitación de una zona de expansión, que se determina en función a la composición química del material y que posibilite las condiciones necesarias de hinchamiento y viscosidad. Si las características químicas de la arcilla están fuera de esta zona no presentan la propiedad de expansión. Sin embargo, no todos los puntos dentro de la zona que se define pueden tener la capacidad de desprender gases durante el proceso térmico, a pesar de ser capaces de formar una masa con la suficiente viscosidad, esto está relacionado con su composición mineralógica.

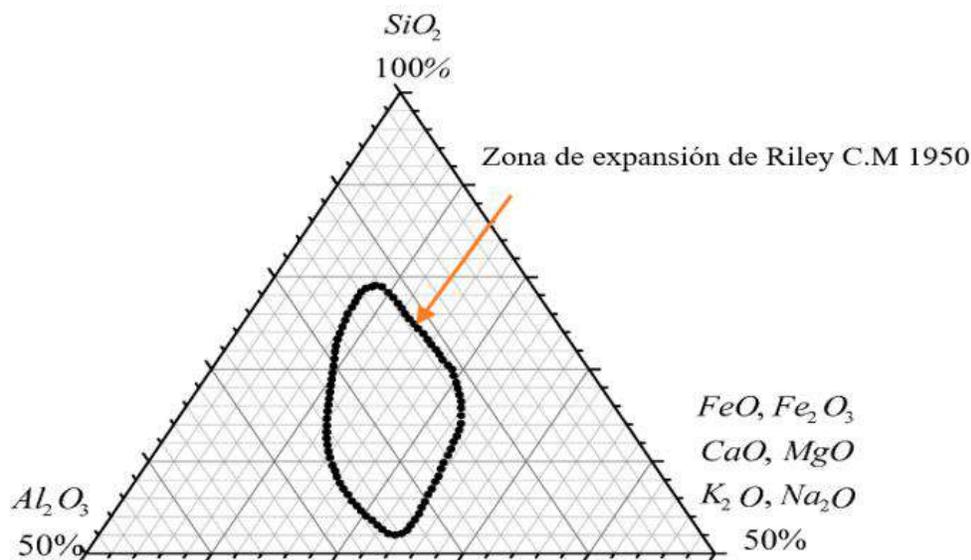
(Cubaud & Murat, 1968)

Otra propiedad que depende de la composición química es el grado de vitrificación, lo que implica que la envoltura exterior que presente cada granulo sea impermeable y presente una resistencia propia adecuada. Este proceso de vitrificación se debe presentar en la zona de temperaturas en la cual se da inicio la fase de fusión, pero manteniendo una viscosidad muy baja tal, que permita la expansión. Dentro de este análisis, las arcillas que tengan en su composición sodio y potasio producen mezclas con alta viscosidad, por otro lado, las arcillas que contengan magnesio y calcio dan lugar a mezclas con baja viscosidad. Se considera el óxido de hierro como un fundente intermedio. Los estudios indican que la capacidad de vitrificación está directamente relacionada con las proporciones de  $K_2O + Na_2O$  y  $CaO + MgO$  presentes en la materia prima, es aquí donde se obtendrá una correcta vitrificación si se cumple con la siguiente relación: (Cubaud & Murat, 1968)

$$\frac{K_2O + Na_2O}{CaO + MgO} > 1$$

**Figura 2**

*Diagrama de Riley*



*Nota.* Se observa la delimitación de la zona de expansión en el diagrama de Riley. Fuente: (Ji Chen y otros, 2023)

Existe otra formulación basada en los estudios experimentales y conclusiones de diversos autores y fabricantes de arcilla térmicamente expandida, que marcan los parámetros de estos compuestos químicos dentro de determinados rangos, en los cuales se cumple con el requisito químico de una arcilla con potencial de expansión. Una de las empresas productoras más importantes es la empresa Arlita, que define los parámetros por las cuales rige su producción. (Martínez Pineda, 2010)

**Tabla 1***Composición Química Ideal de las Arcillas con potencial de expansión térmica*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA IDEAL DE LAS ARCILLAS</b>						
	W. Kalb & E. Wilhelm		Solovieva		Arlita	
	% en peso		% en peso		% en peso	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50	80	50	65	55	65
<b>CaO</b>	3	6	1	4	1	4
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3	12	5	9	7	15
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8	25	16	20	12	25
<b>TiO<sub>2</sub></b>	-	-	-	-	-	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2	6	1.5	4.5	-	-
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2	6	1.5	4.5	-	-
<b>MgO</b>	3	6	1.5	3.5	1.5	3.5
<b>SO<sub>3</sub></b>	2	5	0	1.5	0	0.7
<b>S</b>			0	1.5	0	0.5
<b>Per. Calcinación</b>	6	12	6	8		

*Nota:* El cuadro muestra los parámetros dentro de los cuales una arcilla puede considerarse que tiene el potencial de expansión térmica. Fuente: Adaptación de (Martínez Pineda, 2010)

La teoría que indica que las arcillas ubicadas fuera de la zona de expansión presentada en el diagrama de Riley, es confirmada por los estudios realizados por Giraldo Cárdenas y García Escobar, que concluyeron que todas aquellas arcillas ya sean mezcladas o es estado natural, que presentaban composiciones químicas que las ubicaba fuera de esta zona, no presentaron ninguna expansión; por otro lado, aquellas muestras que se hallaban dentro de la zona o en algunos casos muy próximas a la misma, no necesariamente presentaron una expansión, lo que indicó que la capacidad de expansión de las arcillas no solo se determina por su composición química. Por lo tanto, es necesario también considerar y definir parámetros mineralógicos para determinar con mayor exactitud la elección del material adecuado. (Giraldo Cárdenas & García Escobar, 2006)

### *Identificación de la Composición Química*

**El Espectroscopio Láser de Fluorescencia de Rayos X (XRF).** La espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) viene a ser un conjunto de técnicas que permiten detectar y cuantificar la composición química de una muestra de material a través de la irradiación de rayos X, el análisis espectral de los rayos X reemitidos por fluorescencia permite la obtención de "firmas" características de los distintos elementos químicos presentes en la muestra. Los análisis de las intensidades relativas de cada firma permiten obtener concentraciones de elementos presentes en la muestra del material, es un proceso no destructivo en el que se pueden analizar muestras solidas como metales, rocas, muestras en polvo y según el equipo que se utilice también muestras liquidas, el único requisito es que la muestra tenga un tamaño menor o adecuado para el portamuestras o el analizador según sea el caso. (Palma Baettig y otros, 2015)

El espectroscopio laser es un analizador portátil de fluorescencia de rayos X que permite analizar una amplia gama de elementos que van desde el Magnesio hasta el Uranio, siendo un análisis bastante rápido y preciso. El analizador emite rayos X que impactarán contra la muestra, esto genera una emisión de fluorescencia por parte de los elementos, la cual viajará de retorno al detector de rayos X del analizador. El analizador contará los rayos X recibidos y aplicará un cálculo matemático para generar un resultado. La preparación de la muestra para este proceso es sencilla o inexistente, ya que es capaz de analizar muestras sólidas, liquidas, polvos, películas, entre otros. Su operación es sencilla, ya que no requiere la manipulación de reactivos químicos que en muchos casos son peligrosos; los resultados son bastante precisos y se obtienen de manera instantánea lo que reduce en gran medida el tiempo empleado en los análisis químicos convencionales. (CEYESA, 2023)

## **Propiedades de las Arcillas Térmicamente Expandidas**

La principal característica de la arcilla térmicamente expandida es su menor peso unitario en comparación con los agregados convencionales, sin embargo, presenta otras características que mejoran las propiedades de los concretos, entre ellas se tienen:

**Baja Densidad o Peso Unitario.** Es la propiedad más resaltante de este material, es el resultado de la expansión, en su grado de mayor expansión puede llegar a alcanzar hasta cinco veces su volumen original, esto representa aproximadamente una densidad cinco veces más baja que los agregados naturales. Un análisis de los distintos resultados de expansión, indica que la arcilla expandida más ligera presenta una densidad de  $300 \text{ kg/m}^3$  y la de mayor densidad es de  $1120 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente, mientras que el peso unitario de los agregados convencionales se encuentra entre los  $1400$  y  $1800 \text{ kg/m}^3$ ; por lo tanto, la incorporación de arcilla térmicamente expandida en el concreto influye directamente en su densidad final. (Martínez Pineda, 2010)

**Resistencia Mecánica.** Debido a la estructura superficial rígida que envuelve los gránulos, la mayoría de arcillas expandidas mantienen la resistencia a la compresión y los hace ideales para la producción de morteros y concretos, en algunos casos incluso es posible la fabricación de concretos estructurales de alta resistencia. (Latertlite S. P. A. " Soluciones ligeras y asilantes", (s.f.))

**Aislante Térmico.** Al presentar una red de cámaras de aire, la arcilla expandida presenta valores bajos de conductividad térmica, lo que lo hace ideal para usos como aislante térmico, como en aislamientos térmicos que soportan cargas o no, ya sean losas, o muros de separación. (Latertlite S. P. A. " Soluciones ligeras y asilantes", (s.f.))

**Resistente al Fuego.** Dado que la arcilla expandida es elaborada a temperaturas por encima de los  $1100^\circ\text{C}$ , además no presenta materia orgánica, ya que esta se volatiliza durante la

fabricación, esto hace que la arcilla expandida no sea combustible ni presente emisión de gases tóxicos a temperaturas elevadas. Además, posee una gran resistencia a los ataques químicos y resiste perfectamente a las heladas. (Martínez Pineda, 2010)

**Respetuosa con el Medio Ambiente.** El producto no contiene sílice, materiales fibrosos o materiales que puedan representar perjuicio para la salud o el medio ambiente. La materia prima es la arcilla, un material abundante en la superficie terrestre y su extracción se reduce dado que el producto final tendrá un volumen de hasta cinco veces el inicial. (Latertlite S. P. A. " Soluciones ligeras y asilantes", (s.f.))

### ***El Concreto***

El concreto es un material ampliamente usado en la construcción y mantenimiento de todo tipo de estructuras; desde viviendas, edificaciones, vías de transporte, aeropuertos, obras hidráulicas, etc. Está compuesto por una mezcla de componentes, entre ellos principalmente el cemento, el agua y los agregados, adicionalmente según sea necesario se incorpora algún tipo de aditivo que mejora algunas características de la mezcla de concreto. La mezcla de todos estos componentes produce una masa de consistencia plástica, de fácil moldeo y compactación; sin embargo, a lo largo de las horas se torna rígida, a partir de la cual va adquiriendo las características de un cuerpo sólido, convirtiéndose finalmente en el concreto endurecido con una resistencia mecánica característica. (Torre Carrillo, 2004)

### ***Propiedades Mecánicas del Concreto***

**Diseño de Mezcla.** Consiste básicamente en determinar los requerimientos particulares del concreto para un fin específico, determinando las proporciones de cada uno de sus componentes. El diseño de mezcla permite lograr obtener un material eficiente y económico que satisface los requerimientos de un proyecto constructivo. Esta etapa de diseño representa el inicio

de búsqueda de la mezcla que mejores propiedades presente potencialmente, según el caso en particular, y que será debidamente verificada antes de ser admitido como el diseño de obra.

(Torre Carrillo, 2004)

Para dosificar una mezcla es importante tener conocimiento de los siguientes aspectos:

- La forma que presenten las estructuras, su tamaño y su función.
- Los materiales que se utilizarán.
- La resistencia a compresión a la cual se quiere llegar.
- Las condiciones ambientales en las que se realizara el vaciado.
- Los factores a los cuales estará expuesta la estructura.

**Resistencia a Compresión.** Esta propiedad se cuantifica por lo general a 28 días luego de vaciado el concreto, sin embargo, dependiendo del tipo de estructura puede determinarse en tiempos mayores a los 28 días o en casos de uso de cementos especiales en la mezcla puede determinarse en tiempos menores a los 28 días. En casos como presas es común usar de referencia la resistencia cuantificada a los 56 días, y en casos de túneles frecuentemente se toma de referencia la resistencia obtenida a los 7 días. Para cuantificar la resistencia a la compresión se utilizan muestras cilíndricas con una altura de 30cm y un diámetro de 15cm, que pasan por un proceso de curado hasta los 28 días, tiempo después del cual son llevadas a la rotura mediante aplicación de cargas que incrementan de manera progresiva. (Torre Carrillo, 2004)

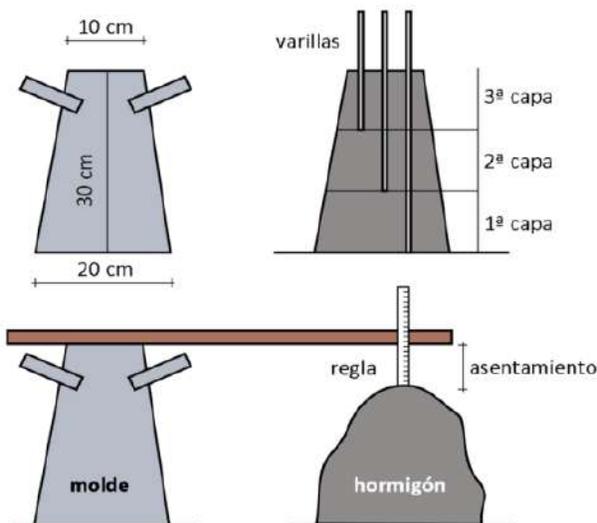
### ***Propiedades Físicas del Concreto***

**La Trabajabilidad.** Es la propiedad que posee el concreto para ser fácilmente manipulado, mezclado y puesto en obra. En general se puede decir que tiene mayor trabajabilidad si la mezcla; contiene más agua, si está compuesto por mayor cantidad de finos, si

los agregados tienen una morfología redondeada, si se ha incorporado mayor cantidad de cemento, y en algunos casos al usar aditivos plastificantes y fluidificantes. (Torre Carrillo, 2004)

**Consistencia.** Esta propiedad muestra la facilidad con la que el concreto fresco se adapta a una forma específica, depende del agua de amasado, del tamaño máximo, la granulometría y la forma de los agregados que componen el concreto. (Torre Carrillo, 2004)

**Ensayo para Determinar la Consistencia del Concreto.** Se realiza mediante el “Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el Cono de Abrams” (NTP 339.035). este ensayo consiste en utilizar un molde en forma de tronco de cono, con un diámetro 20cm en la parte inferior y de 10cm en la parte superior. El procedimiento comienza con el humedecido del molde y colocarla sobre una superficie plana; seguidamente se vierte el concreto en tres capas, cada una a un 1/3 del volumen del molde aproximadamente, compactando cada capa con 25 golpes utilizando una barra lisa de acero de 5/8” y de 60cm de largo. Una vez llenado el molde se enraza la parte superior para luego levantar el molde verticalmente, y medir la diferencia de altura entre el molde y el concreto fresco. Esta medida dará una idea de plasticidad del concreto y la trabajabilidad al momento de la manipulación y el moldeo. (Torre Carrillo, 2004)

**Figura 3***Ensayo de Cono de Abrams*

*Nota.* Se muestra el procedimiento del ensayo de cono de Abrams, para determinar el asentamiento de la mezcla de concreto. Fuente: (Polanco Madrazo y otros, s.j.)

**Peso Unitario.** Expresa el peso que tiene 1m<sup>3</sup> de una determinada mezcla. No todos los concretos tienen el mismo peso unitario, la variación la determina el peso de los agregados y las cantidades de agua y cemento presentes en la mezcla. Los concretos convencionales por lo general tienen un peso unitario entre 2000 kg/m<sup>3</sup> y 2400 kg/m<sup>3</sup>; los concretos ligeros tienen un peso unitario por debajo de 1900 kg/m<sup>3</sup> y tienen una resistencia limitada. Los concretos pesados tienen un peso unitario elevado, muy por encima de un concreto convencional, pero sin superar los 6000 kg/m<sup>3</sup>. (Aceros Arequipa, (s.f.))

### **Conductividad Térmica de los Materiales**

La conductividad térmica de un material determina la capacidad que tiene este de transferir calor al imponerle una diferencia de temperaturas. La medición se puede realizar mediante el Aparato de la placa caliente guardada o utilizando un equipo medidor de flujo de calor.

Los valores que se obtiene a través de experimentos de medición de esta propiedad, son aplicados en el diseño y simulación de cargas térmicas de edificios, en la optimización de los componentes en las plantas industriales, particularmente en aquellos equipos que trabajan en base a la transferencia de calor. (Diez Campos y otros, 2007)

**Coefficiente de Conductividad Térmica.** El coeficiente de conductividad térmica indica el flujo de calor que atraviesa a la unidad de muestra de un determinado material; con una constitución de caras planas y paralelas, y un espesor definido. (Collieu y Ponwney, 1997)

Este coeficiente se determina a partir de la “ley de conducción de calor de Fourier” a través de las siguientes relaciones:

$$Q = -\lambda \times A \left( \frac{\Delta T}{L} \right)$$

La variación de temperatura ( $\Delta T$ ), se refiere a las temperaturas medidas en ambas caras, una temperatura  $T_1$ (caliente) en la cara donde se ubica la fuente de calor, y una temperatura  $T_2$ (fría) medida en la cara opuesta. (Collieu y Ponwney, 1997)

$$Q = -\lambda \times A \left( \frac{T_2 - T_1}{L} \right)$$

De donde el coeficiente se obtiene a partir del despeje.

$$\lambda = \frac{Q \times L}{A \times (T_2 - T_1)}$$

- $\lambda$  = Coeficiente de conductividad térmica (W/mx°K)
- $Q$  = Flujo de calor total a través de la pared (Joule/s)
- $L$  = Espesor que atraviesa el calor (m)
- $A$  = Área por donde se suministra la placa caliente (m)
- $T_1$  = Temperatura de la placa caliente (°K)
- $T_2$  = Temperatura de la placa fría (°K)

**Tabla 2**

*Clasificación de materiales en función a su Capacidad Aislante*

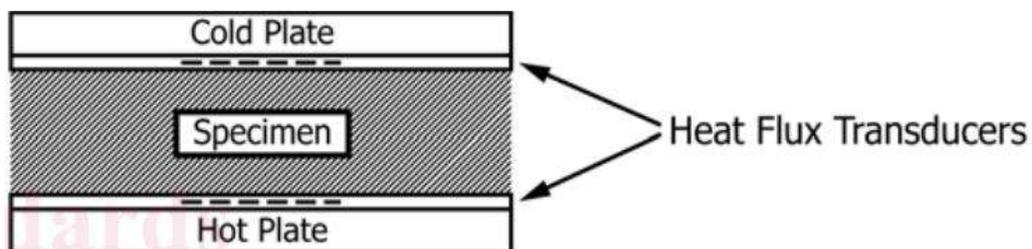
Materiales	Conductividad térmica (W/m <sup>°</sup> K)
Buenos aislantes	0.043 - 0.288
Moderados aislantes	0.288 - 0.721
Pobres aislantes	>0.721

*Nota.* Se muestra la relación de la capacidad aislante de los materiales respecto a los valores de conductividad térmica. Fuente: (Blanco,2012)

**Ensayo para la Determinación de la Conductividad Térmica.** El ensayo que permite determinar la conductividad térmica de un material se basa en la norma ASTM C158-21 “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus” que utiliza un aparato de medidor de flujo de calor. Este aparato establece un estado estacionario de flujo de calor unidireccional a través de una muestra colocada entre dos placas planas y paralelas a temperaturas constantes pero que difieren en una proporción fija y constante. Este equipo consta de dos placas isotérmicas, transductores de flujo de calor, y sensores de temperatura o termopares que miden la diferencia de temperatura entre las caras opuestas de la muestra durante el ensayo. Las caras de las placas deben mantener superficies isotérmicas en las caras de la muestra con la cual tengan contacto. La medición se realiza dentro de un área definida por el sensor del transductor de flujo de calor, el área restante alrededor se define como área de guardia. (ASTM C158-21, 2021)

**Figura 4**

*Esquema básico del equipo medidor de flujo de calor.*



*Nota.* Estructura del equipo de conductividad térmica. Fuente: (ASTM C158-21, 2021)

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### Hipótesis de la Investigación

#### *Hipótesis General*

Se puede elaborar arcilla térmicamente expandida en la región Cusco que, al utilizarse como agregado grueso, disminuye el peso unitario y la conductividad térmica, sin afectar significativamente la resistencia a la compresión del concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

#### *Hipótesis Específicas*

- La composición química de las arcillas determina su potencial de expansión térmica.
- Las arcillas aumentan su volumen y disminuyen su densidad, al elevar la temperatura de calcinación.
- Al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como agregado grueso, se observa una disminución en el peso unitario y conductividad térmica, sin afectar considerablemente la resistencia a la compresión en el concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- El costo de producción un m<sup>3</sup> de concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la Región Cusco es de S/700.00.

### Método de Investigación

La presente investigación hizo uso del método cuantitativo, ya que se realizó mediante procesos organizados de manera secuencial con la intención de probar las hipótesis propuestas.

En la primera parte de la investigación, se realizó la caracterización de las arcillas correspondientes a siete canteras en la región Cusco, seguidamente, estas arcillas fueron

sometidas a un ensayo de expansión térmica a altas temperaturas, para elegir la arcilla con el potencial de expansión adecuado.

La segunda parte de la investigación consistió en la elaboración de especímenes de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  utilizando piedra chancada de la cantera Vicho como agregado grueso (Concreto patrón) y especímenes de concreto utilizando arcilla térmicamente expandida como sustituto total de la piedra chancada de la cantera Vicho, con el fin de determinar los valores de su resistencia a la compresión, peso unitario en estado fresco y conductividad térmica, para finalmente, compararlos.

### **Tipo de Investigación**

Esta investigación es del tipo aplicada, ya que se hizo uso del conocimiento existente sobre la incidencia de la arcilla térmicamente expandida en el concreto y a su vez, se generaron nuevos conocimientos sobre la composición química de arcillas de siete canteras en la región Cusco y su comportamiento al someterlas a altas temperaturas. Además de su influencia en la resistencia a la compresión, peso unitario, consistencia y conductividad térmica del concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  al sustituir el agregado grueso convencional (piedra chancada) en su totalidad.

### **Nivel o Alcance de Investigación**

La presente investigación posee un nivel correlacional, debido a que en la primera parte de la investigación se determinó la relación entre la temperatura de calcinación de la arcilla y los cambios de volumen y densidad. Asimismo, en la segunda parte de la investigación, a través de ensayos, se determinó la influencia de utilizar la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como sustituto a la piedra chancada de la cantera Vicho en la resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .

## **Diseño de Investigación**

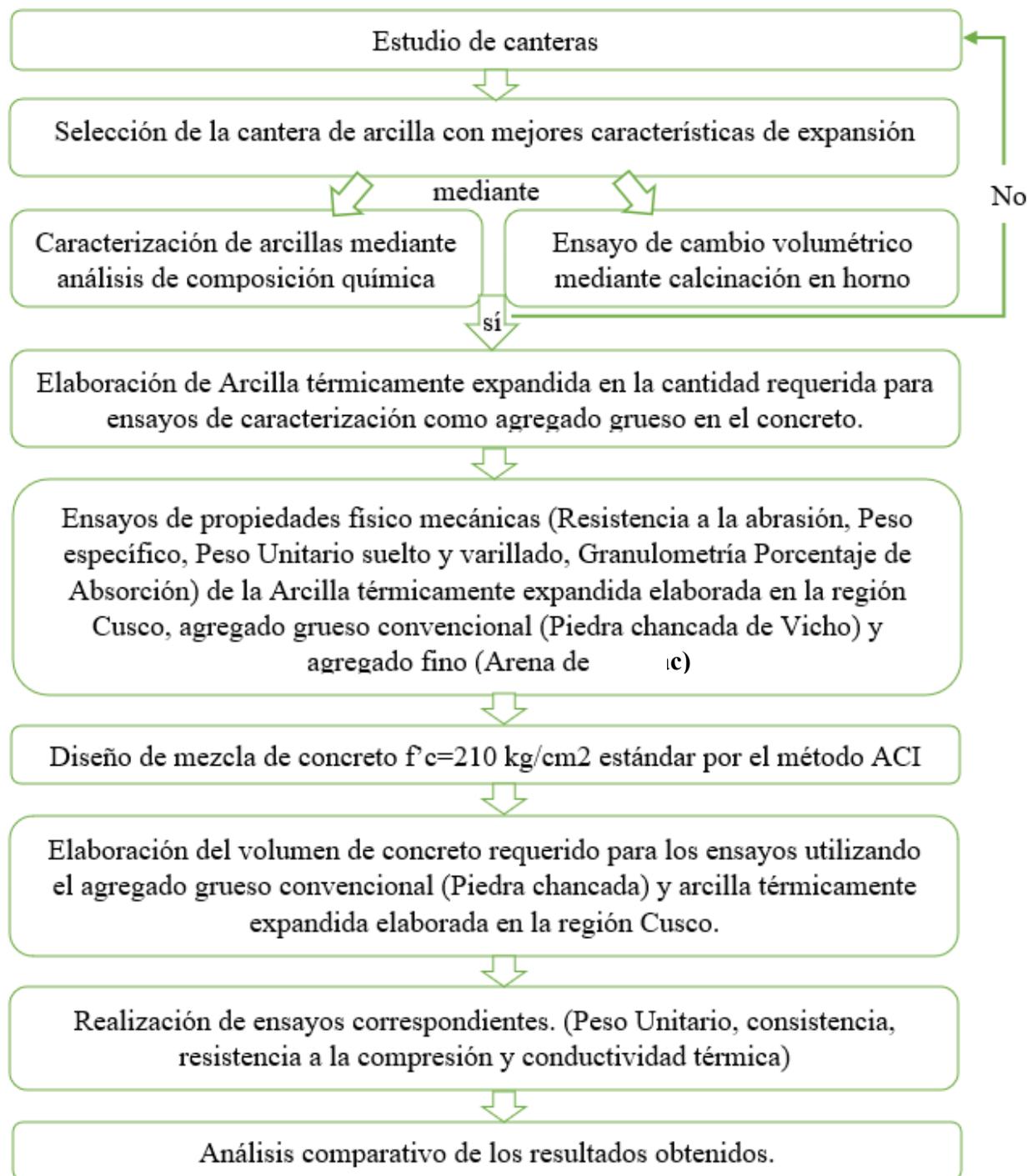
### ***Diseño Metodológico***

La presente investigación utilizó el diseño experimental, ya que se manipuló de manera intencionada a determinadas arcillas de la región Cusco, con el fin de obtener de alguna de ellas, arcilla térmicamente expandida, para posteriormente analizar la influencia que posee en la resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  al utilizarse como agregado grueso, comparándola con un concreto patrón que tiene como agregado grueso, piedra chancada de la cantera Vicho, utilizando en ambos concretos, arena de la cantera de Cunyac como agregado fino.

## Diseño de Ingeniería

Figura 5

Diseño de Ingeniería



Nota. Se detallan los procedimientos realizados en la investigación. Fuente: Elaboración Propia

## Operacionalización de Variables

### *Definición de Variables*

En la primera parte de la investigación, se determinó como variables independientes a “Arcilla”, ya que se utilizaron siete arcillas de diferentes canteras, con composiciones químicas distintas y a “Condiciones de calcinación”, debido a que se varió la temperatura de calcinación hasta conseguir la expansión óptima. Se determinó como variable dependiente a la “Expansión térmica”, ya que esta cambiará de acuerdo al tipo de arcilla y a las condiciones de calcinación.

En la segunda parte de la investigación, se tuvo como variable independiente a “Agregado grueso”, debido a que se utilizaron dos tipos de agregado grueso: Arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco y piedra chancada de la cantera Vicho. Como variable dependiente, se tuvo el “Concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ” debido a que, al utilizar la arcilla térmicamente expandida elaborada en Cusco en el concreto, se modificaron su resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica.

### *Matriz de Operacionalización de Variables*

**Tabla 3**

*Matriz de Operacionalización de Variables I*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos		Unidad de Medida
VII: Arcilla	Composición Química	SiO <sub>2</sub>	Escala de medición	Ensayo de Espectroscopía.	%
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
VI2: Condiciones de calcinación	Temperatura	1148°C	Fichas de observación	Pirómetro con sensor de temperatura termopar tipo K	°C
		1178°C			
		1196°C			
		1221°C			
		1255°C			
VD1: Expansión térmica	Variación de Volumen	Expansión	Fichas de observación	Calibrador vernier	cm <sup>3</sup>
		Contracción			
	Variación de Densidad	Incremento	Fichas de observación	Balanza y calibrador vernier	Kg/cm <sup>3</sup>
		Disminución			

*Nota.* La matriz corresponde a la primera etapa de la investigación. Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4***Matriz de Operacionalización de Variables II*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos		Unidad de Medida
<b>VI3:</b> Agregado Grueso	Piedra Chancada	Matriz de caracterización			
	Arcilla Térmicamente Expandida elaborada en la región Cusco	Matriz de caracterización			
<b>VD2:</b> Concreto $f'c=210$ $kg/cm^2$	Resistencia a la compresión	7 días	Fichas de observación	Ensayo de resistencia a la compresión de testigos cilíndricos, basado en MTC E 704	$Kg/cm^2$
	Consistencia (SLUMP)	0 - 2	Escala de medición	Ensayo de Asentamiento del concreto (MTC E 705)	cm
		3 - 5			
		6 - 9			
	Peso Unitario	>2.8	Escala de medición	Método de ensayo para determinar densidad (Peso Unitario) NTP 339.046	$Kg/cm^3$
		2.0 - 2.8			
		1.2 - 2.0			
Conductividad Térmica	0.043 - 0.288	Escala de medición	Método de Placa Caliente Guardada, basado en ASTM C177-13	$W/m^{\circ}C$	
	0.288 - 0.721				
	> 0.721				
Costo de Producción	Por m3	Ficha de observación	Hoja de cálculo	Soles	

*Nota.* La matriz presentada corresponde a la segunda etapa de la investigación. Fuente:

Elaboración Propia

*Matriz de Caracterización*

**Tabla 5**

*Matriz de Caracterización de Componentes*

Componentes	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos		Unidad de Medida
Agregado Fino (Arena de Pisac)	Porcentaje de Absorción- Peso específico	Porcentaje de Absorción	Fichas de observación	Peso específico y absorción del agregado fino (MTC E 205)	%
		Peso específico			
	Granulometría	Módulo de Finura	Fichas de observación	Análisis granulométrico por tamizado	mm
Peso Unitario	Suelto	Varillado	Fichas de observación	Peso unitario suelto y vacío de los agregados (MTC E 203)	Kg/cm <sup>3</sup>
Piedra Chancada	Porcentaje de Absorción- Peso específico	Porcentaje de Absorción	Fichas de observación	Peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E 205)	%
		Peso específico			
	Granulometría	Tamaño máximo nominal	Fichas de observación	Análisis granulométrico por tamizado	mm
Peso Unitario	Suelto	Varillado	Fichas de observación	Peso unitario suelto y vacío de los agregados (MTC E 203)	Kg/cm <sup>3</sup>
Arcilla Térmicamente Expandida elaborada en la región Cusco	Porcentaje de Absorción- Peso específico	Porcentaje de Absorción	Fichas de observación	Peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E 205)	%
		Peso específico			
	Granulometría	Tamaño máximo nominal	Fichas de observación	Análisis granulométrico por tamizado	mm
Peso Unitario	Suelto	Varillado	Fichas de observación	Peso unitario suelto y vacío de los agregados (MTC E 203)	Kg/cm <sup>3</sup>

*Nota.* La matriz presentada corresponde a los ensayos realizado a los agregados. Fuente:

Elaboración Propia

## **Población, Muestra y Tamaño Muestral**

### ***Población***

En la presente tesis de investigación, se tiene que, para la elaboración de arcilla térmicamente expandida, la población estudiada fue el total de arcillas ubicadas en la región Cusco y para el análisis de la resistencia a la compresión, peso unitario y conductividad térmica del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , la población fue la totalidad de briquetas y bloques a ensayar.

### ***Muestra***

En la primera parte de la investigación, se trabajó con muestras no probabilísticas, debido a que, para la elaboración de arcilla térmicamente expandida, se realizó un estudio de canteras de arcilla, que tomó en cuenta el acceso, ubicación y potencial de explotación. Asimismo, se escogió la arcilla que posea la composición química y potencial de expansión requeridos.

Para la segunda parte, se tuvieron muestras probabilísticas, debido a que, las briquetas para los ensayos requeridos del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , fueron escogidas de manera aleatoria.

### ***Tamaño Muestral***

La presente tesis de investigación se desarrolló en las siguientes etapas: estudio de canteras, estudio de composición química, estudio de expansión térmica mediante sinterización a altas temperaturas, estudio de la resistencia a la compresión y conductividad térmica del concreto utilizando arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como sustituto de la piedra chancada de la cantera Vicho.

En el estudio de canteras se tuvo como muestras siete canteras de arcilla ubicadas en los distritos de San Jerónimo (Cusco), Izcuchaca (Anta), Sicuani (Canchis), Santa Ana (La Convención), Checacupe (Canchis), Lamay (Calca) y Ocongate (Quispicanchi).

Para el análisis de composición química, se estudió una muestra de arcilla por cada cantera estudiada, teniendo un total de siete muestras.

**Tabla 6**

*Muestras para ensayo de Composición Química*

CANTERA	MUESTRA	UNIDAD
San Jerónimo	01	Ensayo de espectroscopía.
Checacupe	01	Ensayo de espectroscopía.
Lamay	01	Ensayo de espectroscopía.
Izcuchaca	01	Ensayo de espectroscopía.
Sicuani	01	Ensayo de espectroscopía.
Ocongate	01	Ensayo de espectroscopía.
Huayanay	01	Ensayo de espectroscopía.

*Nota.* La tabla indica la cantidad de muestras necesarias para el análisis de composición química.

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, se procederá con el estudio de calcinación, llevando 20 esferas moldeadas de cada arcilla, de 1.5 cm de diámetro, a cinco temperaturas diferentes de calcinación, sumando 100 esferas en total por cantera. Las temperaturas de calcinación se determinaron en función a la temperatura de fusión de cada tipo de arcilla y sus cambios volumétricos más notorios, observados en un estudio previo.

Se determinó el tamaño muestral de acuerdo a la Tabla 8.6 de la Pág. 214 del libro titulado “Metodología de la investigación” de (Hernández Sampieri & Mendoza Torre, 2018), que nos indica que el tamaño muestral mínimo en estudios experimentales es de 15 por grupo.

**Tabla 7***Tamaño muestral de esferas para calcinación*

CANTERA	TEMPERATURA °C				
	1148	1178	1196	1221	1255
Checacupe	20	20	20	20	20
Lamay	20	20	20	20	20
Izcuchaca	20	20	20	20	20
Sicuani	20	20	20	20	20
Ocongate	20	20	20	20	20
Huayanay	20	20	20	20	20

CANTERA	TEMPERATURA °C				
	1131	1148	1178	1196	1221
San Jerónimo	20	20	20	20	20
<b>TOTAL, DE ESFERAS: 700</b>					

*Nota.* Se observa que la arcilla de San Jerónimo tiene temperaturas diferentes de sinterización, esto debido a que tiene menor temperatura de fusión. Fuente: Elaboración Propia

Después de este proceso, se eligió la arcilla y la temperatura, en la cual se logró la máxima expansión de la arcilla, sin arriesgar su dureza.

Para estudiar la resistencia a la compresión, se utilizaron ocho briquetas de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho y ocho briquetas de concreto con arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco, para siete, 14 y 28 días, sumando así 48 briquetas. Las briquetas tuvieron un diámetro de 15 cm y altura de 30 cm.

**Tabla 8**

*Tamaño muestral de briquetas para determinar la resistencia a la compresión del concreto*

MUESTRA	Resistencia a la Compresión		
	07 días	14 días	28 días
Concreto tradicional	08	08	08
Concreto con arcilla térmicamente expandida elaborada en Cusco	08	08	08
<b>TOTAL</b>	<b>48 BRIQUETAS</b>		

*Nota.* Se determinó 08 briquetas por cada día de ensayo. Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo de conductividad térmica, se utilizaron cuatro bloques de 30cm x 30cm x 2.54cm por tipo de concreto, teniendo un total de ocho bloques.

**Tabla 9**

*Tamaño muestral de bloques para ensayo de conductividad térmica del concreto*

MUESTRA	Conductividad Térmica
	28 días
Concreto Tradicional	04
Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida	04
<b>TOTAL</b>	<b>08 BLOQUES</b>

*Nota.* Se determinó 04 bloques de cada tipo de concreto para la medición de su conductividad térmica. Fuente: Elaboración Propia

## **Técnicas e Instrumentos**

### ***Técnicas***

La presente tesis de investigación se realizó en un nivel correlacional y de diseño experimental, por lo que en todo momento se utilizó la observación y se registró toda la información obtenida de los ensayos, de manera organizada y detallada.

### *Instrumentos*

Se recolectó la información requerida para los diferentes ensayos a realizar en la presente tesis de investigación, mediante las siguientes fichas de observación. (Ver Anexos)

- FO 01: Prueba de expansión térmica
- FO 02: Porcentaje de Humedad - MTC E 108 – 2000.
- FO 03: Granulometría Agregado Grueso - MTC E 204 – 2000.
- FO 04: Granulometría Agregado Fino - MTC E 204 – 2000.
- FO 05: Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso - MTC E 206 – 2000.
- FO 06: Peso Específico y Absorción del Agregado Fino - MTC E 205 – 2000.
- FO 07: Peso Unitario Suelto y Vacíos de los Agregados - MTC E 203 – 2000.
- FO 08: Peso Unitario Varillado y Vacíos de los Agregados - MTC E 203 – 2000.
- FO 09: Desgaste por Abrasión - MTC E 207.
- FO 10: Diseño de Mezcla de Concreto ACI 211.
- FO 11: Ensayo de asentamiento del concreto (SLUMP) - MTC E705.
- FO 12: Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos - MTC E 704 – 2000.
- FO 13: Conductividad Térmica - Basado en la Norma ASTM C518 y C177.

## Recolección de Datos

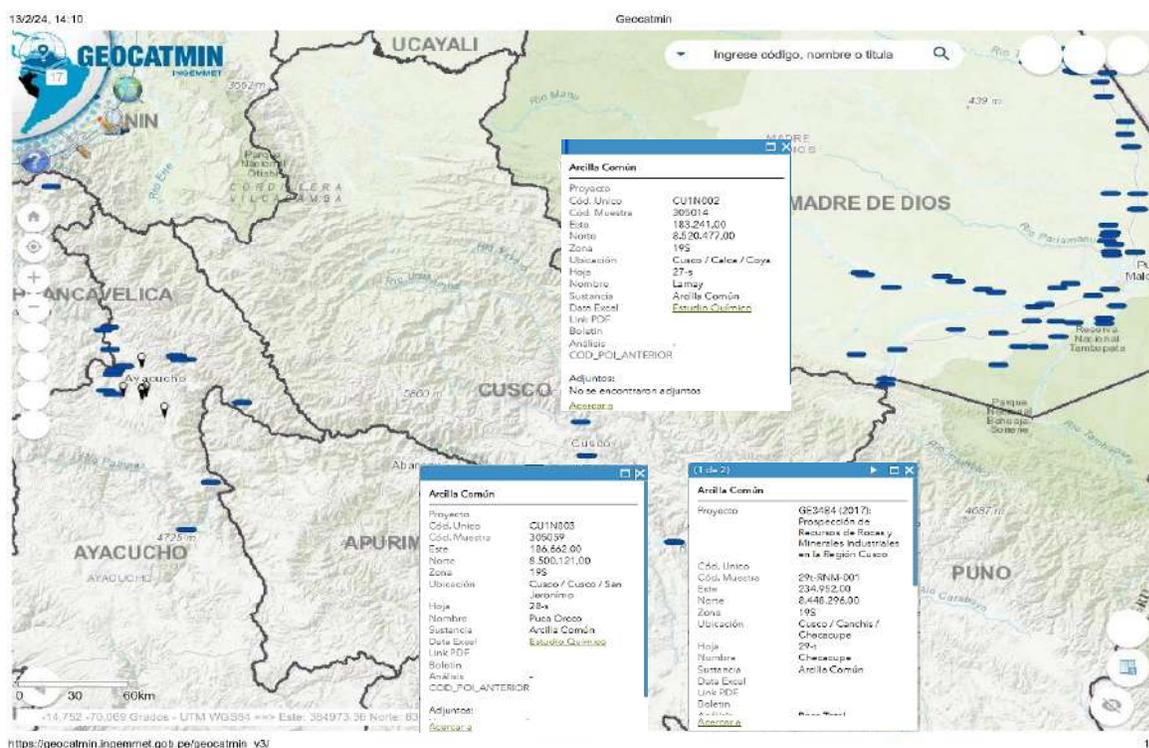
### Estudio de Canteras

En la presente investigación se realizó un estudio de canteras de arcilla en la Región Cusco considerando la ubicación de dichas canteras, potencial de explotación y su accesibilidad. Este estudio de canteras comprende de dos etapas: la exploración de canteras y la caracterización de las arcillas.

**Exploración de Canteras.** En la presente investigación se delimitó la ubicación de canteras a la región Cusco. Según la información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en su página web oficial de [geocatmin.ingemmet.gob.pe](http://geocatmin.ingemmet.gob.pe), se tiene el siguiente mapa, en el cual se muestran las canteras de arcilla común existentes en la Región Cusco.

**Figura 6**

*Canteras de arcilla en la región Cusco*



*Nota.* Se muestran la ubicación de tres canteras de arcilla según el GEOCATMIN.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de la página web oficial de GEOCATMIN.

Se consideraron como base estas tres canteras de arcilla ubicadas en las provincias de Cusco, Calca y Canchis; sin embargo, esta investigación tiene dos enfoques: zonas altoandinas de clima frío y zonas selváticas donde no abunda la piedra chancada. Es por eso que se decidió realizar una exploración enfocada en estos dos tipos de zona y se consideraron algunas provincias más de la región Cusco.

Considerando el potencial de explotación, se tomaron en cuenta canteras de arcilla activas, explotadas para la fabricación de ladrillos u otros fines, además se consideró la proyección de urbanización de las zonas. Por último, considerando la accesibilidad hacia las canteras, se realizaron estudios en los siguientes distritos: San Jerónimo (Cusco), Izcuchaca (Anta), Sicuani (Canchis), Santa Ana (La Convención), Checacupe (Canchis) y Coya (Calca).

**Arcilla de San Jerónimo, Cusco, Cusco.** Cantera de arcilla ubicada específicamente en las coordenadas:

Latitud:  $-13.554943^{\circ}$

Longitud:  $-71.901611^{\circ}$

### Figura 7

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en San Jerónimo, Cusco*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

Actualmente, esta cantera es explotada por la industria ladrillera, posee grandes extensiones de arcilla de color café con gran presencia de arena, también se lograron observar algunas vetas de carbonato de calcio.

### Figura 8

*Arcilla de la cantera de arcilla de San Jerónimo, Cusco*



*Nota.* Se observa el recojo de muestras de la arcilla de San Jerónimo. Fuente: Elaboración propia.

**Arcilla de Checacupe, Canchis, Cusco.** Cantera de arcilla ubicada más específicamente en las coordenadas:

Latitud:  $-14.023472^{\circ}$

Longitud:  $-71.453904^{\circ}$

### Figura 9

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en Checacupe, Canchis*



*Nota.* La extensión del lugar es considerable; sin embargo, no se logró delimitarla. Se observó un tipo de suelo arcilloso de color café, con gran presencia de arena

Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

## Figura 10

*Arcilla de la cantera de Checacupe, Canchis, Cusco*



*Nota.* Se observa la extracción de muestras de arcilla de Checacupe. Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, esta cantera de arcilla no se encuentra explotada; es un terreno que le pertenece a la comunidad de Checacupe, que convirtieron en un parque de atracción turística.

**Arcilla de Lamay, Coya, Calca, Cusco.** Las coordenadas dadas por el INGEMMET dirigen al centro del río Vilcanota en Lamay, la margen derecha del río se encuentra poblada y la margen izquierda inmediata está llena de chacras; por lo que se realizó una exploración por la zona hasta encontrar un lugar de donde se pudieran tomar muestras, esta zona posee las siguientes coordenadas:

Latitud:  $-13.367592^{\circ}$

Longitud:  $-71.926807^{\circ}$

**Figura 11**

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en Lamay, Calca*



*Nota.* La ubicación fue tomada de la página del GEOCATMIN. Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

No se tiene información acerca de los propietarios del lugar y cabe acotar que el lugar no está siendo explotado como cantera. En la zona se encontraron estratos de rocas mezcladas con suelo arcilloso y arenas; sin embargo, solo se tomaron muestras del suelo arcilloso.

**Figura 12**

*Arcilla de la cantera de Lamay, Calca.*



*Nota.* Extracción de la arcilla de Lamay. Fuente: Elaboración propia.

**Arcilla de Izcuchaca, Anta, Cusco.** Adicionalmente, se exploró una zona en el distrito de Izcuchaca, más específicamente en las coordenadas:

Latitud:  $-13.448922^{\circ}$

Longitud:  $-72.125524^{\circ}$

**Figura 13**

*Vista de cantera de arcilla ubicada en Izcuchaca, Anta, Cusco*



*Nota.* Se muestra la vista de la cantera de Izcuchaca. Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

En esta zona se pudo observar grandes extensiones de suelo arcilloso de color naranja con poca presencia de arena, algunos terrenos de estos son utilizados en la industria ladrillera, agricultura y a otros no se les da uso, esto debido a que la zona aún no está tan poblada.

**Figura 14**

*Arcilla de Izcuchaca, Anta, Cusco*



*Nota.* Extracción de la arcilla de Izcuchaca. Fuente: Elaboración propia.

**Arcilla de Sicuani, Canchis, Cusco.** Se exploró también, el distrito de Sicuani, más específicamente la zona de Pampa Ansa y se tomaron muestras en las coordenadas:

Lat: -14.244327°

Long: -71.245854°

### Figura 15

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en Sicuani, Canchis*



*Nota.* La cantera corresponde a una zona poco poblada, cuyo principal uso es para la agricultura.

Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

Pampa Ansa posee grandes extensiones de arcilla negra, con gran plasticidad y poca presencia de arenas, utilizadas en agricultura; sin embargo, también son explotadas para la elaboración de ladrillos, abasteciendo actualmente tres ladrilleras de la zona y otras cercanas.

**Figura 16**

*Arcilla de Sicuani, Canchis, Cusco*



*Nota.* Extracción de la arcilla Sicuani. Fuente: Elaboración propia.

**Arcilla de Ocongate, Quispicanchi, Cusco.** Ubicada en el distrito de Ocongate, cerca de la Quebrada Mayo Tinco, al costado de la carretera interoceánica del sur. más específicamente en las coordenadas:

Latitud: -13.637910°

Longitud: -71.418557°

**Figura 17**

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en Ocongate, Quispicanchi, Cusco*



*Nota.* La exploración fue realizada dentro del área delimitada. Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

La extensión de terreno explorada fue, aproximadamente, la mostrada en la figura 17 y se observó un suelo arcilloso de color amarillo – naranja, con poca presencia de rocas. Cabe mencionar que, no se logró investigar los propietarios del lugar.

**Figura 18**

*Arcilla de Ocongate, Quispicanchis*



*Nota.* Extracción de la arcilla de Ocongate. Fuente: Elaboración propia.

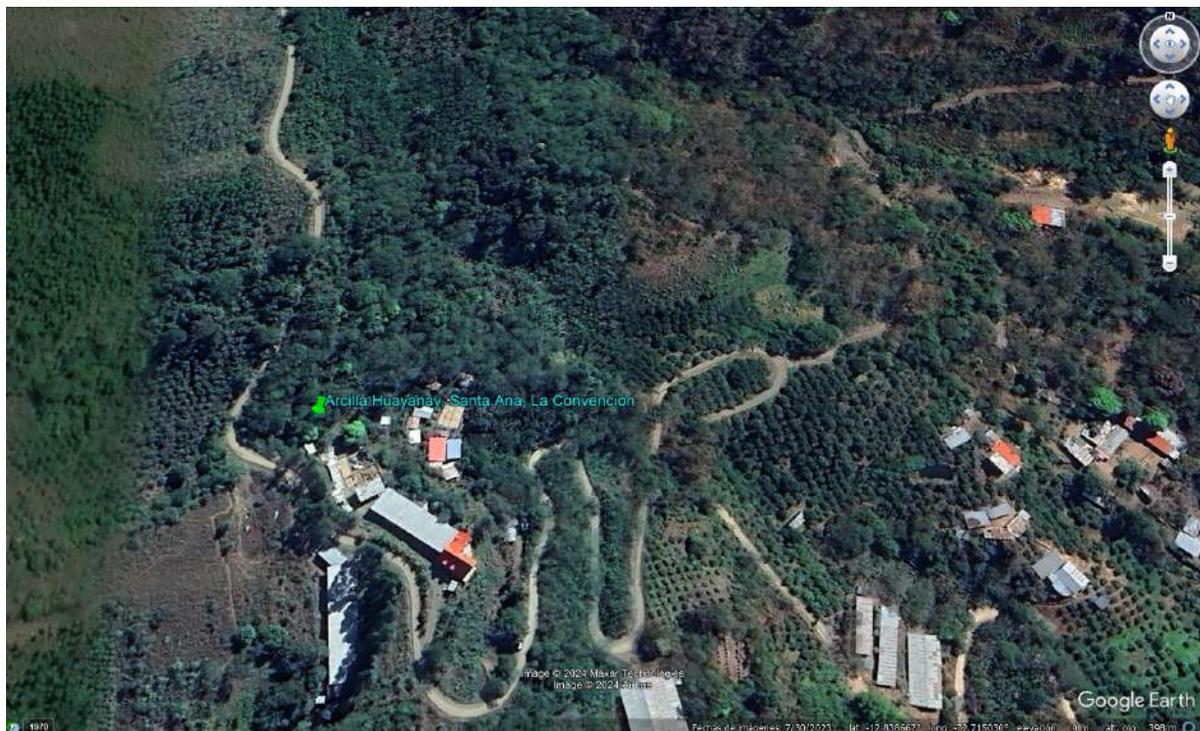
**Arcilla del CP Huayanay, Santa Ana, La Convención, Cusco.** Ampliando el estudio de canteras hacia la zona selva de la región Cusco, se llegó a la provincia de la Convención, más específicamente al centro poblado de Huayanay ubicado en el distrito de Santa Ana, que posee las siguientes coordenadas.

Latitud:  $-12.838863^{\circ}$

Longitud:  $-72.716101^{\circ}$

### Figura 19

*Vista de la cantera de arcilla ubicada en el CP Huayanay, Santa Ana, La Convención*



*Nota.* Se muestra la ubicación aproximada. se pudo determinar una delimitación de la cantera.

Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth.

Se observó grandes extensiones de suelo arcilloso de color amarillo naranja con gran presencia de materia orgánica, debido al uso agrícola que le dan los propietarios, es una zona muy poco poblada.

**Figura 20**

*Arcilla del CP Huayanay, Santa Ana, La Convención*



*Nota.* Extracción de la arcilla de Huayanay. Fuente: Elaboración propia.

***Caracterización de las Arcillas.***

**Clasificación de suelos.** Se realizó la clasificación de suelos mediante el sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS), para lo que, se realizó el análisis granulométrico de cada muestra de suelo y también, se halló sus índices de plasticidad.

**Análisis Granulométrico.** Se realizó el ensayo mediante la vía húmeda (lavado), debido a que se trata de suelos limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no se rompen con facilidad.

Primero, se dejaron las arcillas remojando en agua hasta que los terrones se deshicieran totalmente, seguidamente, se procedió con el lavado sobre el tamiz N°200, para luego dejar las muestras en el horno por 24 horas y finalmente, realizar el tamizado.

**Figura 21**

*Lavado de muestras sobre el tamiz N°200.*



*Nota.* Se siguió el proceso establecido en la norma MTC E107. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 22**

*Gradación de muestras de arcilla I*



*Nota.* Se muestra la gradación de la arcilla de San Jerónimo y se puede observar que, después del lavado sobre el tamiz N°200, la muestra disminuyó considerablemente. Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

## Gradación de muestras de arcilla II



*Nota.* En el primer panel, se muestra la gradación de la arcilla de Checacupe, en el segundo panel, la arcilla de Lamay y en el tercer panel, la arcilla de Izcuchaca. Se observa que, la muestra de arcilla de Lamay muestra gran presencia de pequeñas rocas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 24**  
Gradación de muestras de arcilla III

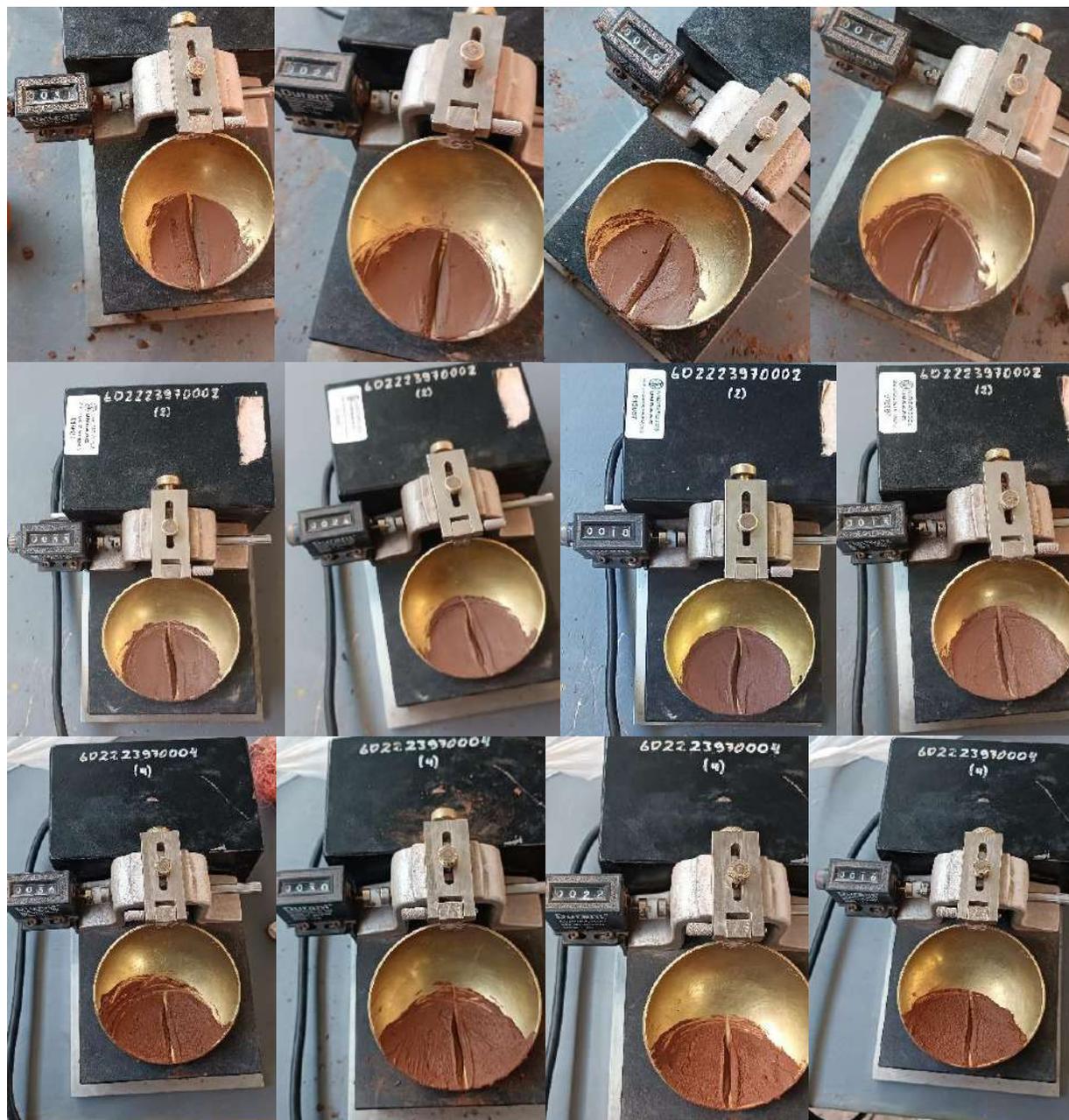


*Nota.* En el primer panel, se muestra la gradación de la arcilla de Sicuani, en el segundo panel, la arcilla de Ocoyate y en el tercer panel, la arcilla de Huayana. Se observa que, las muestras de estas arcillas muestran cierta presencia de pequeñas rocas. Fuente: Elaboración propia.

### *Índice de plasticidad.*

**Figura 25**

*Ensayo de límite líquido de las muestras de arcilla I*



*Nota.* En la primera fila, se muestra el ensayo de límite líquido de la arcilla de San Jerónimo, en la segunda fila, de la arcilla de Lamay y en la tercera fila, de la arcilla de Izcuchaca. La arcilla de Checacupe no presentó límites líquidos ni plásticos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26**

*Ensayo de límite líquido de las muestras de arcilla II*



*Nota.* En la primera fila, se muestra el ensayo de límite líquido de la arcilla de Sicuani, en la segunda fila, de la arcilla de Ocongate y en la tercera fila, de la arcilla de Huayanay. Fuente: Elaboración propia.

**Análisis de Composición Química de las Muestras de Arcilla.** Cada una de las muestras extraídas de cada cantera de arcilla fueron pulverizadas, con el fin de uniformizarlas.

### Figura 27

*Muestras de arcillas para análisis de composición química*



*Nota.* Se observan muestras representativas de las arcillas correspondientes a las siete canteras estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

Se procedió con el análisis químico de las muestras utilizando el equipo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) del laboratorio de ingeniería química de la UNSAAC, a cargo del Mgt. Ing. Washington Julio Lechuga Canal.

### Figura 28

*Ensayo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X*



*Nota.* En la tercera imagen se puede observar el cuadro de elementos químicos, brindado por el equipo de espectroscopía de rayos X. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10***Elementos químicos de las arcillas estudiadas*

Elementos Químicos	Arcilla						
	Ocongate	Huayanay	Sicuani	San Jerónimo	Checacupe	Lamay	Izcuchaca
Si	28.28%	21.62%	22.29%	19.44%	21.52%	20.09%	22.06%
Ca	0.00%	0.00%	0.24%	2.57%	4.12%	4.87%	0.00%
Fe	3.68%	6.08%	4.16%	3.30%	2.69%	4.56%	4.56%
Al	10.91%	14.64%	13.72%	7.74%	5.82%	8.30%	12.17%
K	1.03%	1.91%	2.35%	1.38%	1.14%	1.84%	1.44%
Mg	0.33%	0.52%	1.32%	2.79%	1.54%	4.15%	0.53%
S	0.08%	0.07%	0.15%	0.04%	0.05%	0.06%	0.04%
P	0.08%	0.07%	0.05%	0.10%	0.08%	0.07%	0.05%
V	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
Mn	0.04%	0.02%	0.03%	0.06%	0.04%	0.08%	0.11%
Ni	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
Cu	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
Zn	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
As	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Rb	0.01%	0.02%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
Sr	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.01%	0.01%	0.01%
Y	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Zr	0.04%	0.02%	0.01%	0.02%	0.05%	0.02%	0.03%
Nb	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Pb	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cr	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
Ti	0.76%	0.87%	0.49%	0.39%	0.49%	0.64%	0.56%

*Nota.* Se muestra un resumen de los porcentajes de elementos químicos que contiene cada arcilla.

Fuente: Elaboración propia.

### ***Evaluación de expansión térmica a diferentes temperaturas de calcinación***

Se realizaron pruebas de expansión térmica a altas temperaturas de calcinación, utilizando un horno mufla eléctrico perteneciente al laboratorio de materiales de ingeniería química de la UNSAAC, que se encuentra a cargo del Ing. Atilio Mendigure Sarmiento.

**Figura 29***Horno mufla eléctrica*

*Nota.* Se muestra el horno mufla eléctrica, cuya temperatura máxima de calcinación es de 1300°C. La temperatura de calcinación fue controlada mediante el termómetro digital CIE- 305P mostrado en la figura y fue contrastada con cono pirométrico Orton. Fuente: Elaboración propia.

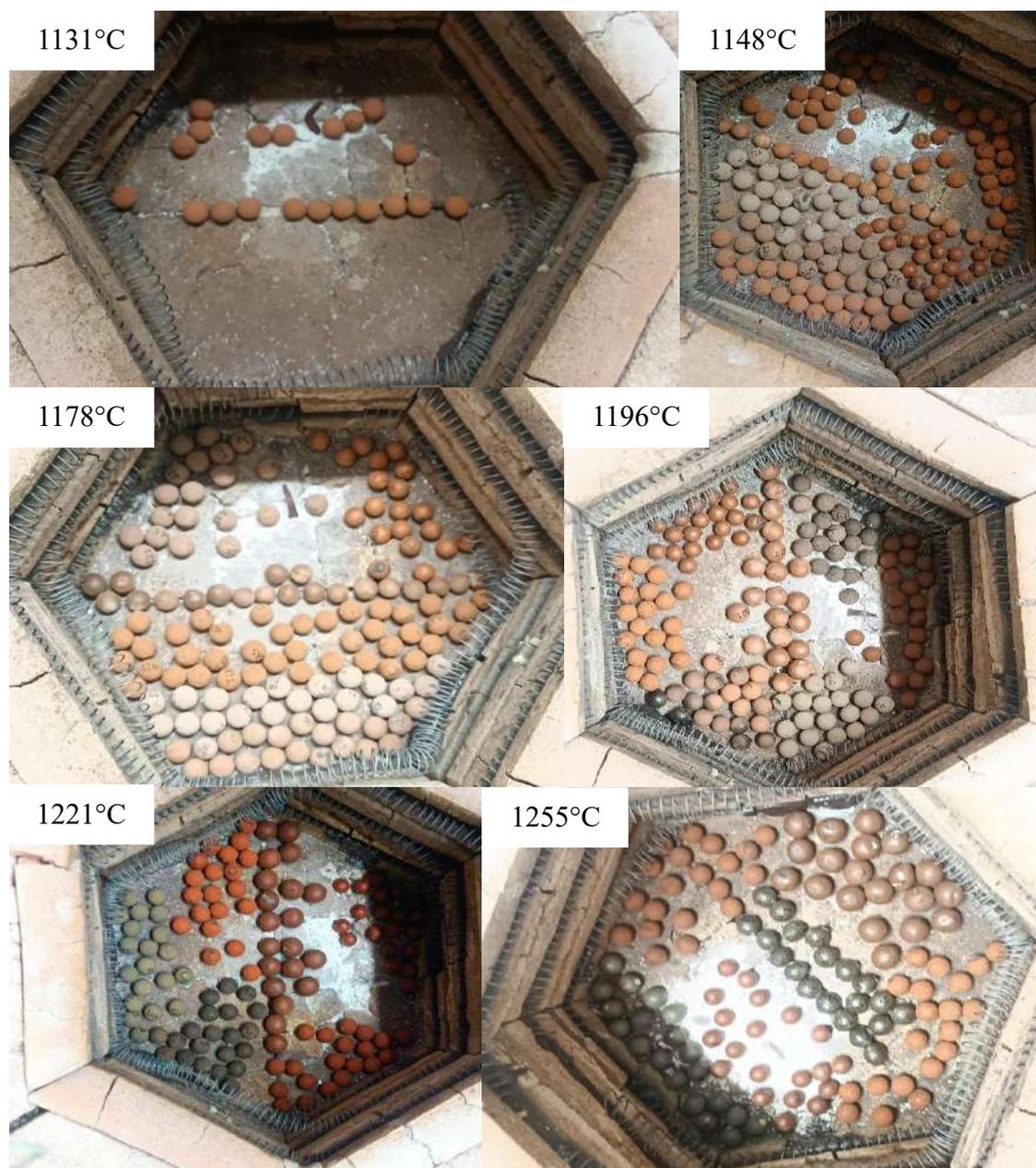
**Figura 30***Esferas de arcilla antes de la calcinación.*

*Nota.* Se muestran 100 esferas de diámetro 1.5 cm para cada cantera de arcilla en estado crudo, se tomó registro del peso y diámetro de cada una de las esferas. Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron estudios previos a la calcinación de esferas para determinar el punto de fusión de las arcillas y se logró determinar solo el punto de fusión de la arcilla de San Jerónimo, aproximadamente 1200°C, las demás arcillas no presentaron cambios observables antes de la temperatura aproximada de 1148°C.

### Figura 31

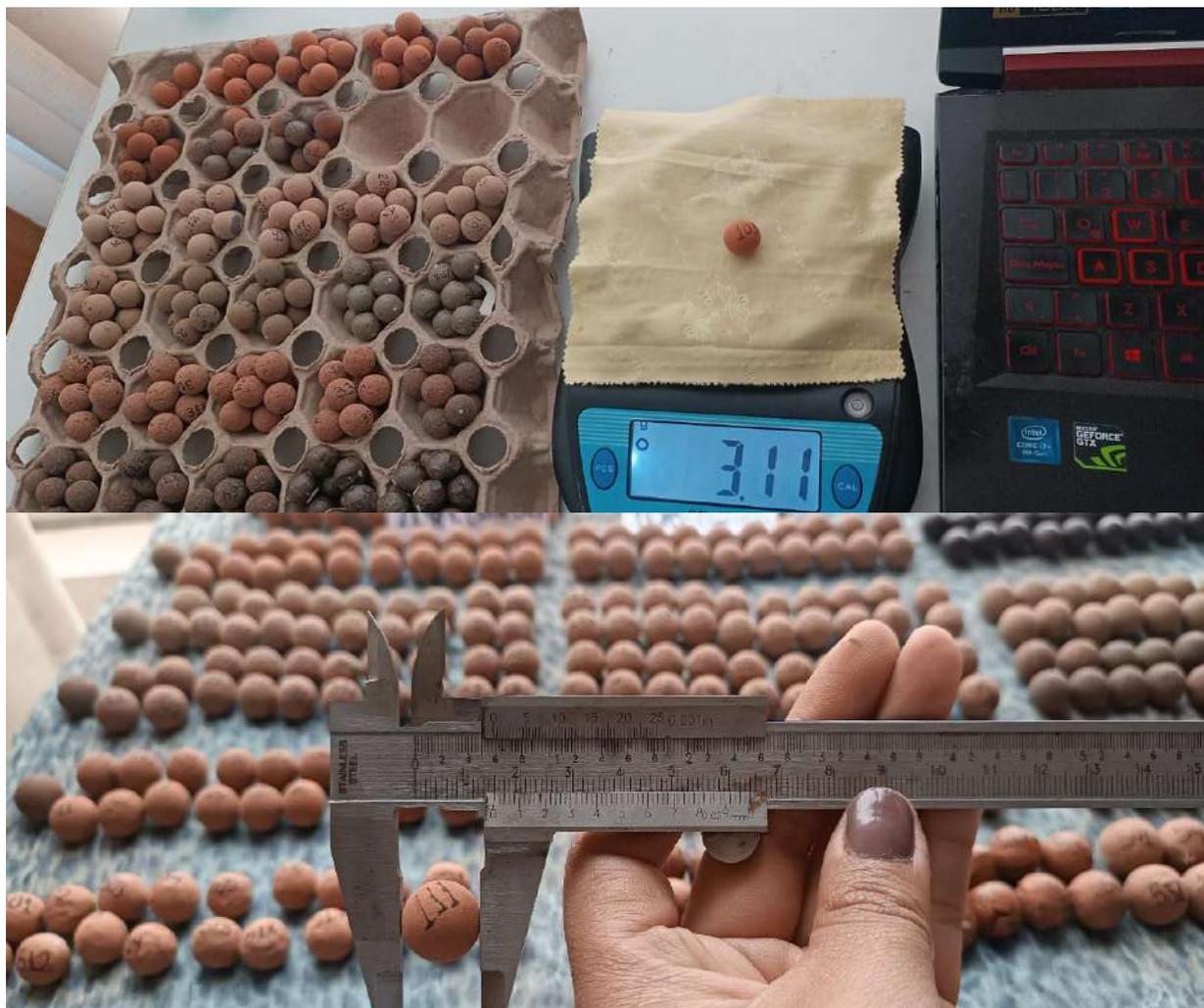
*Calcinación de esferas de arcillas estudiadas.*



*Nota.* Se calcinó la arcilla de San Jerónimo de 1131°C a 1196°C. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32**

*Registro de peso y diámetro de esferas de arcilla.*



*Nota.* En el primer panel, se puede observar el registro del peso de cada una de las esferas después de la calcinación y en el segundo panel se muestra el registro de diámetros de cada esfera utilizando un vernier de alta precisión. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33***Esferas de arcilla calcinadas.*

*Nota.* Se puede observar el cambio volumétrico de cada arcilla estudiada para cada temperatura de calcinación. Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de San Jerónimo no presentó cambios volumétricos significativos hasta la temperatura de 1196°C, temperatura en la cual empezó su fusión.

La arcilla de Checacupe no presentó cambios volumétricos significativos hasta la temperatura de 1221°C y su fusión empezó a la temperatura de 1255°C, mostró el mismo color café de su estado crudo hasta antes de la temperatura de 1221°C, en la que tomó un color verde.

La arcilla de Lamay presentó ligeros cambios volumétricos hasta antes de su fusión a la temperatura aproximada de 1255°C, mantuvo su color original hasta la temperatura de 1178°C.

La arcilla de Izcuchaca fue disminuyendo su volumen de manera proporcional sin llegar a su punto de fusión, mantuvo su color naranja original.

La arcilla de Ocongate presentó cambios volumétricos de manera proporcional a la temperatura, cambiando de color amarillo a un color naranja intenso.

La arcilla de Huayanay, disminuyó su volumen de forma considerable hasta la temperatura de 1221°C; sin embargo, en la temperatura de 1255°C se observó un ligero aumento de volumen. También se observó la formación ligera de una capa interna negra.

La arcilla de Sicuani presentó una ligera contracción a la temperatura de 1148°C, a partir de la temperatura de 1178°C se pudo observar su expansión y cambio de color en su capa interna, donde se pudieron observar la aparición de poros, dichos poros fueron aumentando su tamaño al aumentar la temperatura de calcinación. Esta arcilla fue la única que mostró la estructura interna de la arcilla expandida, así como una expansión considerable, lo que generó una disminución en su densidad.

### Figura 34

*Estructura interna de la arcilla expandida a diferentes temperaturas.*



*Nota.* Se puede observar el incremento de poros en la arcilla, en función al aumento de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una prueba de calcinación adicional a la temperatura aproximada de 1280°C en un horno a leña y se obtuvo una expansión mayor, no se pudo determinar el volumen mediante la medida de sus diámetros, debido a que la muestra se presentó deformaciones.

### Figura 35

*Muestra de arcilla de Sicuani, calcinada a una temperatura aproximada de 1280°C.*



*Nota.* Se puede observar una muestra de arcilla negra de 1.5cm de diámetro antes y después de su calcinación a la temperatura aproximada de 1280°C. Fuente: Elaboración propia.

### Figura 36

*Estructura interna de la arcilla expandida a 1255°C y 1280°C*



*Nota.* Se puede observar la diferencia del tamaño de poros entre las muestras calcinadas a temperaturas aproximadas de 1255°C en un horno eléctrico y a 1280°C en un horno a leña.

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras calcinadas a una temperatura aproximada de 1250°C no presentan poros de gran tamaño, pero su capa externa mantiene una gran dureza; caso contrario a la muestra calcinada a 1280°C, en la que se observan poros de gran tamaño, pero una capa de baja dureza. Considerando estos puntos, la temperatura de calcinación aproximada que se eligió fue la de 1250°C, ya que el objetivo principal de la investigación es reducir la conductividad térmica y peso del concreto, sin afectar considerablemente su resistencia a la compresión.

### ***Proceso de Elaboración de Arcilla Térmicamente Expandida***

**Extracción y Transporte de la Materia Prima.** Una vez escogida la arcilla con el óptimo potencial de expansión, que en este caso fue la arcilla negra de Sicuani, se procedió a extraer tres saquillos de arcilla negra para elaborar la arcilla térmicamente expandida necesaria para las pruebas en el concreto.

### **Figura 37**

*Extracción de materia prima para la elaboración de arcilla térmicamente expandida*



*Nota.* El material fue extraído tal y como se muestra en la imagen. Fuente: Elaboración propia.

**Pelletización y redondeo.** Para poder amasar la arcilla, se procedió a remojarla con agua en un 30% de su volumen y al pasar un día, la arcilla se hizo trabajable.

**Figura 38***Preparación de la arcilla*

*Nota.* Se incorporó el agua para suavizar los terrones más grandes. Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un ensayo de granulometría a la piedra chancada de la cantera Vicho en los estudios previos y una vez obtenidas las proporciones de material que se retiene en cada malla, se decidieron los diámetros de las esferas y las cantidades necesarias de cada diámetro.

**Figura 39***Pelletización de la arcilla*

*Nota.* Se amasó la arcilla y se pelletizó con ayuda de jeringas de diferentes tamaños, para poder obtener la gradación de la piedra chancada de la cantera Vicho. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40**

*Redondeo de la arcilla*



*Nota.* Para redondear la arcilla, se utilizaron tablas de rodillos de diferentes diámetros, primero se colocaron pellets del ancho de las tablas para después desplazar la tabla superior haciendo contacto con la tabla inferior, dando como resultado esferas. Fuente: Elaboración propia.

Figura 41

Producción de esferas de arcilla



*Nota.* En cuatro días, se realizaron aproximadamente 92 litros de esferas de diámetros 0.6 cm, 0.8 cm, 1.1 cm, 1.4 cm y 1.6 cm. Este tiempo incluye amasado, pelletización y redondeo. Fuente: Elaboración propia.

**Sinterización de la arcilla.** Para realizar la sinterización de las esferas de arcilla negra, se utilizó un horno de tiro invertido para altas temperaturas, dicho horno fue diseñado y elaborado por el ceramista cusqueño Germán Romero, experto en cerámica gres. El combustible para este horno es la leña y se apoya en un pequeño ventilador de aire para llegar hasta temperaturas de aproximadamente 1300 °C en periodos cortos de tiempo (tres – cuatro horas), por horneada se utilizan aproximadamente cuatro quintales de leña.

### Figura 42

*Horno estático de tiro invertido*



*Nota.* En la primera figura se muestra el carguío del horno, en la segunda figura se muestra el cierre del horno, con ladrillos refractarios y cubierta de mezcla de tierra y pizarra en polvo, la tercera figura muestra el horno en funcionamiento. Fuente: Elaboración propia.

Se midió la temperatura promedio aproximada mediante conos pirométricos y un pirómetro, para mayor precisión. Al ser un horno estático, las temperaturas varían con la altura de las placas refractarias en las que se encuentran las esferas de arcilla, es por ello que se coloca un cono pirométrico de 1237°C en la parte más baja y otro de 1257°C en la más alta, además el

pirómetro se coloca en la placa intermedia, es así como se aseguró que la temperatura promedio de calcinación sea aproximadamente 1250°C.

### Figura 43

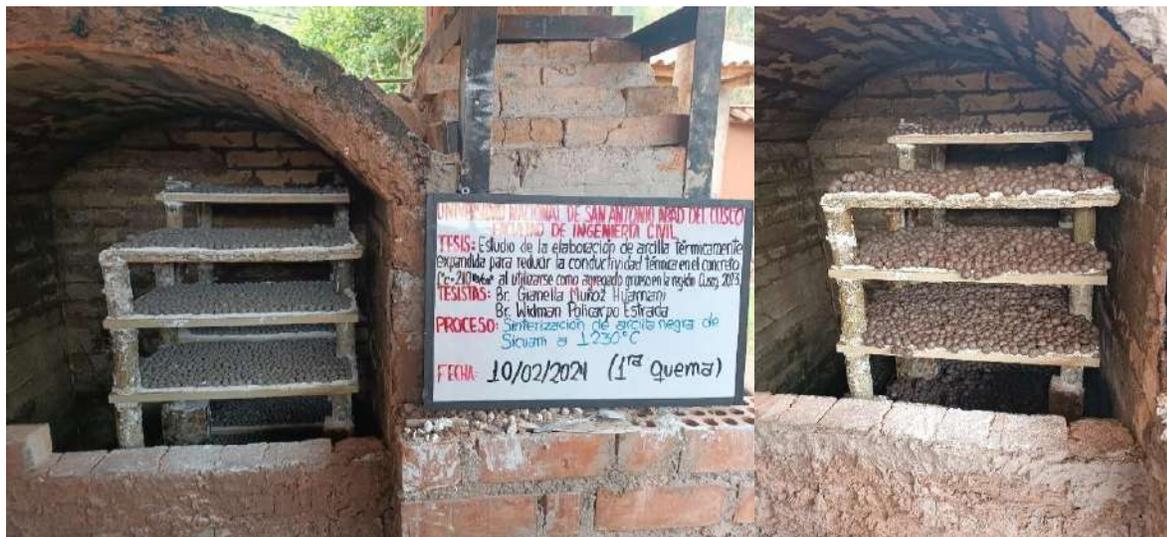
*Control de temperatura promedio aproximada en horno*



*Nota.* En la primera figura se muestra el cono pirométrico Orton y en la tercera figura se muestra el pirómetro. Fuente: Elaboración propia.

Para la sinterización, primero se colocaron las esferas en 12 placas refractarias, espaciándolas correctamente, de tal forma que no se peguen unas a otras; seguidamente, se procedió a cerrar la puerta del horno con ladrillos refractarios y una mezcla de barro con pizarra, capaces de resistir las altas temperaturas del horno.

En la primera horneada se sinterizaron las esferas de diámetros 1.4 y 1.6 cm, mientras que, en la segunda, se sinterizaron las esferas de diámetros 0.6, 0.8 y 1.1 cm.

**Figura 44***Primera horneada de arcilla*

*Nota.* Se observa el antes y después de la sinterización. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45***Segunda horneada de arcilla*

*Nota.* Se puede notar la diferencia de los volúmenes antes y después. Fuente: Elaboración propia.

Se sinterizaron, aproximadamente, 62 litros de esferas de arcilla negra, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 150 litros de arcilla térmicamente expandida.

**Tamizado y mezcla de la arcilla expandida.** Se realizó un tamizado a la arcilla sinterizada para corroborar la granulometría requerida y se obtuvieron aproximadamente 31

litros de arcilla expandida retenida en la malla de  $\frac{3}{4}$ ", 74 litros en la malla de  $\frac{1}{2}$ ", 25 litros en la malla de  $\frac{3}{8}$ " y 20 litros en la malla N°4, obteniendo así una granulometría cercana a la de la piedra chancada de la cantera Vicho.

### Figura 46

*Arcilla térmicamente expandida tamizada*



*Nota.* Se muestra la cantidad total obtenida de material sinterizado. Fuente: Elaboración propia.

### Figura 47

*Arcilla térmicamente expandida mezclada*



*Nota.* Se observa el mezclado de los diferentes tamaños de material sinterizado. Fuente: Elaboración propia.

### *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de los agregados*

#### **Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200 de los agregados.**

**Equipos y herramientas.** Tamices N°16 y N°200, recipiente metálico, balanza electrónica y horno.

**Muestra.** Se realizó el cuarteo correspondiente de acuerdo al MTC E201 hasta reducir la muestra a aproximadamente la cantidad mínima de especificada en el MTC E202.

#### **Tabla 11**

*Cantidad mínima de muestra para el ensayo de cantidad de material más fino que el tamiz N°200*

<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>		<b>Peso mínimo de la muestra (g)</b>
<b>4.75 mm</b>	(N°4) o menor	300
<b>9.5 mm</b>	(3/8")	1000
<b>19.0 mm</b>	(3/4")	2500
<b>37.5 mm</b>	(1 1/2") o mayor	5000

*Nota.* El tamaño máximo nominal de la piedra chancada es de ¾". Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E202.

**Procedimiento en laboratorio.** Se secó la muestra constantemente a 110°C por 24 horas en el horno, se enfrió la muestra a temperatura ambiente para registrar su peso; seguidamente, se agitó el recipiente que contenía la muestra con la finalidad de retirar el material más fino que el tamiz N°200 de las partículas más gruesas mediante el vertido de agua hasta que esta se encuentre totalmente clara. Finalmente, se recogió toda la muestra lavada en un recipiente para secarla por 24 horas en un horno y pesarla.

**Procesamiento de datos.** Se siguió la siguiente fórmula.

$$PF = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

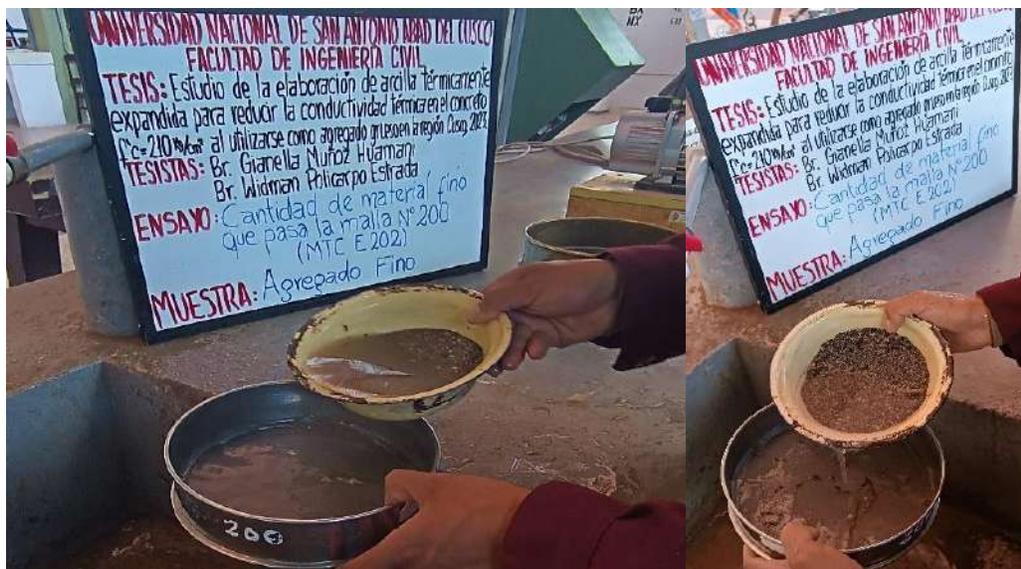
PF= Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado

P1= Peso de la muestra seca antes del lavado

P2= Peso de la muestra seca después del lavado

**Figura 48**

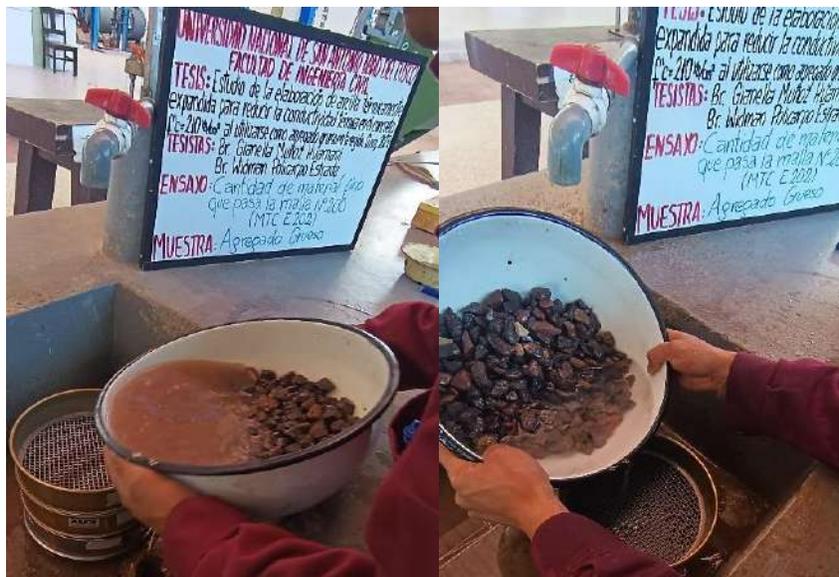
*Lavado del agregado fino mediante vertido de agua*



*Nota.* Se procedió según lo establecido en la norma MTC E202. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 49**

*Lavado de la piedra chancada de la cantera de Vicho mediante vertido de agua*



*Nota.* Se procedió según lo establecido en la norma MTC E202. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 50**

*Lavado de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco, mediante vertido de agua*



*Nota.* Se procedió según lo establecido en la norma MTC E202. Fuente: Elaboración propia.

### **Peso unitario y vacíos de los agregados.**

**Equipos y herramientas.** Balanza, proctor estándar, proctor modificado, varilla compactadora y cucharón.

**Muestra.** Se realizó el cuarteo correspondiente y se redujo la muestra a 2 kg aproximadamente.

**Procedimiento en laboratorio.** Al trabajar con proctor estándar y modificado normado, se tienen las dimensiones de cada uno de ellos, es por ello que solo se pesaron.

Peso unitario suelto:

Se procedió a rellenar el proctor estándar o modificado, según corresponda, con ayuda de una cuchara y una vez colmado, se eliminó el material sobrante con un enrasador. Finalmente, se procedió a pesar el proctor y el material.

Peso unitario compactado:

Se procedió a rellenar el proctor estándar o modificado, según corresponda, en tres capas, apisonando con 25 golpes en cada una y se eliminó el sobrante con un enrasador. Finalmente, se procede a pesar el proctor y el material compactado.

**Procesamiento de datos.** Se siguió la siguiente fórmula para ambos casos.

$$\text{Peso unitario del agregado} = \frac{(\text{Peso del proctor y el agregado} - \text{Peso del proctor})}{\text{Volumen del proctor}}$$

**Figura 51**

*Procedimiento para determinar el peso unitario del agregado fino*



*Nota.* Se determinó el peso unitario suelto y varillado. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 52**

*Procedimiento para determinar el peso unitario de la piedra chancada de la cantera Vicho*



*Nota.* Se determinó el peso unitario suelto y varillado. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53**

*Procedimiento para determinar el peso unitario de la arcilla térmicamente expandida*



*Nota.* Se determinó el peso unitario suelto y varillado. Fuente: Elaboración propia.

#### **Análisis granulométrico de los agregados.**

**Equipos y herramientas.** Balanza, cucharón y juego de tamices (1", ¾", ½", 3/8", N°4, N° 8, N° 16, N°30, N°50, N°100, N°200 y cazuela).

**Muestra.** Según el MTC E204, se requiere mínimamente una muestra de 300 g de agregado fino y para agregado grueso (Piedra chancada de la cantera Vicho o arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco) se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Cantidad de muestra mínima para el ensayo granulométrico por tamizado*

<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>	<b>Cantidad de la muestra de ensayo mínima kg (lbs)</b>	
9.5 mm	3/8"	1 (2)
12.5 mm	1/2"	2 (4)
19.0 mm	3/4"	5 (11)
25.0 mm	1"	10 (22)
37.5 mm	1 1/2"	15 (33)
50.0 mm	2"	20 (44)
63.0 mm	2 1/2"	35 (77)
75.0 mm	3"	60 (130)
90.0 mm	3 1/2"	100 (220)
100 mm	4"	150 (330)
125 mm	5"	300 (660)

*Nota.* En este caso, la cantidad de muestra mínima fue de 5 kg, debido a que el tamaño máximo nominal es de 3/4". Fuente: Manual de ensayos MTC E204.

**Procedimiento en laboratorio.** Para facilitar la determinación de peso retenido por tamiz, se procedió a pesar cada uno de los tamices. Seguidamente, se organizaron y colocaron dichos tamices desde la cazuela hasta la tapa en orden creciente desde el tamiz N°200 hasta el tamiz N°4 (Agregado fino) y del tamiz N°4 al de 1" (Agregado grueso) para después agitarlos manualmente, cuidando que la cantidad de material por tamiz no sea excesiva. Finalmente, se pesó cada tamiz con el material retenido correspondiente.

**Procesamiento de datos.** Para obtener la curva granulométrica y el módulo de fineza del agregado, se requieren los pesos retenidos en cada tamiz

$$\text{Porcentaje retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

$$M.F. = \frac{\sum \text{Porcentaje acumulado retenido (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

**Análisis Granulométrico del Agregado fino.** Según la normativa técnica peruana 400.037, la gradación del agregado fino debe respetar los límites inferiores y superiores de la siguiente tabla:

**Tabla 13**

*Límites para la gradación de agregado fino*

TAMIZ N°	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8"	100%	100%
N° 4	95%	100%
N° 8	80%	100%
N° 16	50%	85%
N° 30	25%	60%
N° 50	5%	30%
N° 100	0%	10%

*Nota.* Fuente: NTP 400.037

**Figura 54**

*Gradación del agregado fino*



*Nota.* Se observa el material retenido en cada tamiz. Fuente: Elaboración propia.

**Análisis Granulométrico de la Piedra Chancada de la Cantera Vicho.** Según la normativa técnica peruana 400.037, la gradación del agregado grueso debe respetar los límites inferiores y superiores de la siguiente tabla:

**Tabla 14***Límites para la gradación del agregado grueso*

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados														
		100 mm 4"	90 mm 3 1/2"	75 mm 3"	63 mm 2 1/2"	50 mm 2"	37.5 mm 1 1/2"	25 mm 1"	19 mm 3/4"	12.5 mm 1/2"	9.5 mm 3/8"	4.75 mm N°4	2.36 mm N°8	1.18 mm N°16	0.30 mm N°50	
1	90 mm a 37.5 mm 1/2" a 1 1/2"	3	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
2	63 mm a 37.5 mm 1/2" a 1 1/2"	2	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
3	50 mm a 25.0 mm 2" a 1"	1	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	
357	50 mm a 4.75 mm 2" a N°4	1	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	
4	37.5 mm a 19 mm 1/2" a 3/4"	1	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	
467	37.5 mm a 4.75 mm 1/2" a N°4	1	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	
5	25.0 mm a 12.5 mm 1" a 1/2"	1	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	
56	25.0 mm a 9.5 mm 1" a 3/8"	1	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	
57	25.0 mm a 4.75 mm 1" a N°4	1	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	
6	19.0 mm a 9.5 mm 3/4" a N°4	1	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	
67	19.0 mm a 4.75 mm 3/4" a N°4	1	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	
7	12.5 mm a 4.75 mm 1/2" a N°4	1	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	
8	9.5 mm a 2.36 mm 3/8" a N°8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12.5 mm a 9.5 mm 1/2" a 3/8"	1	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm N°4 a N°16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Nota.* En este caso, se utilizó el huso 56. Fuente: NTP 400.037

**Figura 55**

*Gradación de la piedra chancada de la cantera Vicho*



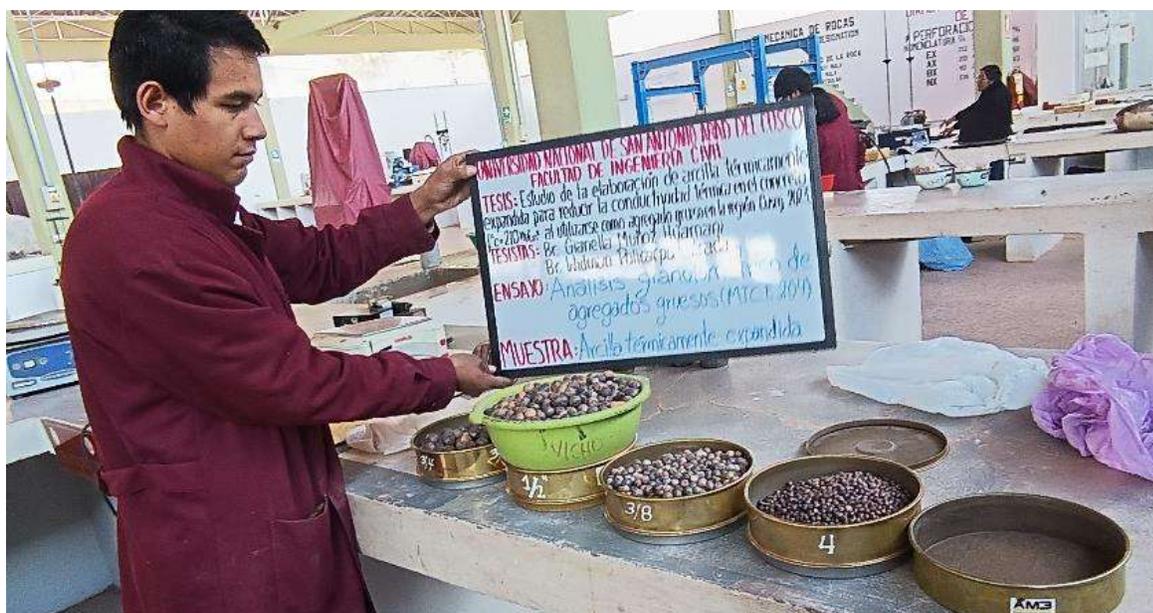
*Nota.* Se muestra las porciones de material retenido en cada tamiz. Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis Granulométrico de la Arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco.**

Cumple los límites de gradación de la tabla 14.

**Figura 56**

*Gradación de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco*



*Nota.* Se observa el material retenido en cada tamiz. Fuente: Elaboración propia.

## Gravedad específica y absorción del agregado fino.

**Equipos y herramientas.** Picnómetro, horno, balanza, secadora, molde cónico y varilla apisonadora.

**Muestra.** Se hizo el cuarteo correspondiente hasta reducir el agregado a aproximadamente 1 kg.

**Procedimiento en laboratorio.** Se secó la muestra a temperatura de 110°C en horno y después remojó por 24 horas.

### Figura 57

*Preparación de la muestra de agregado fino para llevarla al estado saturado superficialmente seco (sss)*



*Nota.* En la primera figura se muestra el secado de agregado fino con aire tibio, en la segunda y tercera imagen, se muestra cómo se apisonó el agregado en un molde cónico probando hasta que el cono de agregado fino se derrumbe al quitar dicho molde para comprobar que, el agregado no se adhiera entre sí. Fuente: Elaboración propia.

Después se pesó el picnómetro vacío, para colocar en él, una muestra de 500 gramos de agregado fino en estado sss y llenarlo de agua hasta la marca de 500 cm<sup>3</sup>. Posteriormente, se utilizó una bomba de vacíos para eliminar todas las burbujas creadas al agitar el picnómetro. Una

vez eliminadas todas las burbujas, se llenó el picnómetro hasta los 500 cm<sup>3</sup> nuevamente para pesarlo. Finalmente, se llevó el agregado fino del picnómetro a un recipiente metálico, se secó a temperatura de 110°C en horno por 24 horas y se pesó.

### Figura 58

*Colocación del agregado fino en estado sss y agua en el picnómetro*



*Nota.* Se procedió según lo indicado en la norma MTC E205. Fuente: Elaboración propia.

**Procesamiento de Datos.** Según el Manual de ensayo de materiales del MTC, obtenemos el peso específico y absorción de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{PMS}{(VP - PA) - (500 - PMS)} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 - PMS}{PMS} \times 100$$

PMS: Peso de la muestra Seca en gramos

VP: Volumen de Picnómetro en cm<sup>3</sup>

PA: Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida al picnómetro

**Peso específico y Absorción de la Piedra Chancada de la Cantera Vicho.**

**Equipos y herramientas.** Cesta con malla de alambre, depósito de agua, balanza, horno y tamiz N° 4.

**Muestra.** Se realizó el cuarteo correspondiente, hasta reducir la muestra hasta el peso mínimo de la muestra de ensayo establecido en la siguiente tabla:

**Tabla 15**

*Cantidad mínima de muestra de agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción*

Tamaño máximo nominal del agregado		Cantidad de la muestra de ensayo mínima kg (lbs)
12.5 mm	1/2"	2 (4,4)
19.0 mm	3/4"	3 (6,6)
25.0 mm	1"	4 (8,8)
37.5 mm	1 1/2"	5 (11)
50.0 mm	2"	8 (18)
63.0 mm	2 1/2"	12 (26)
75.0 mm	3"	18 (40)
90.0 mm	3 1/2"	25 (55)
100 mm	4"	40 (88)
112 mm	4 1/2"	50 (110)

*Nota.* En este caso, la muestra mínima fue de 3 kg. Fuente: Manual de ensayos MTC E206.

**Procedimiento en laboratorio.** Teniendo la muestra, se tamizó en la malla N° 4, se lavó para remover las impurezas y se puso a secar a temperatura de 110°C en un horno por 24 horas, se sacó la muestra del horno y se dejó enfriar para dejarla remojando por 24 horas. Seguidamente, se eliminó el agua y se secó la muestra con un paño para llevar a la piedra chancada al estado saturado superficialmente seco (sss). Posteriormente, se taró la cesta de alambre para obtener el peso de la muestra en estado sss en el aire y en el agua.

Figura 59

*Peso en el aire y agua de la muestra de piedra chancada en estado sss*



*Nota.* Se muestra el peso del material en el aire y sumergido en agua. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se procedió a secar la muestra por 24 horas a 110°C y se pesó.

**Procesamiento de datos.** Para hallar el peso específico aparente y la absorción del agregado, utilizamos las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{\text{Peso de muestra seca} \times 100}{\text{Peso de muestra seca} - \text{Peso de la muestra sss en agua}}$$

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso de la muestra sss en aire} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

**Peso Específico y Absorción de la Arcilla Térmicamente Expandida.**

**Equipos y herramientas.** Probeta graduada, pedazo de vidrio, horno y balanza.

**Muestra.** Se realizó el cuarteo y se redujo hasta una muestra representativa.

**Procedimiento en laboratorio.** Se secó la muestra en el horno por 24 horas, se esperó que enfriara y se remojó por 24 horas, cuidando que la arcilla térmicamente expandida estuviera cubierta totalmente de agua. Se pesó la probeta graduada de 950 ml y el pedazo de vidrio totalmente secos. Después, se eliminó toda el agua de remojo, se secó la arcilla térmicamente

expandida rondándola en un paño de tela, para llevarla al estado saturado superficialmente seco (sss) y se pesó cierta cantidad para colocarla en la probeta graduada y llenarla completamente de agua, eliminando el exceso de agua al cubrirla con el pedazo de vidrio y secando totalmente el exceso de agua con un paño de tela, para pesarla. Finalmente, se llevó la muestra de arcilla térmicamente expandida de la probeta a un recipiente metálico para secarlo por 24 horas en un horno a 110°C y pesarlo en estado seco. Este procedimiento se basó en el ACI 211,2-98.

### Figura 60

*Colocación de arcilla térmicamente expandida y agua en probeta graduada de 950 ml*



*Nota:* Se utilizó una probeta graduada hasta la parte más alta y se cubrió con un pedazo de vidrio debido a que la arcilla térmicamente expandida flota en el agua por su bajo peso específico.

Fuente: Elaboración propia.

**Procesamiento de datos.** Según el Manual de ensayo de materiales del MTC, obtenemos el peso específico y absorción de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{PMS}{(VP - PA) - (PMSSS - PMS)} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{PMSSS - PMS}{PMS} \times 100$$

PMS: Peso de la muestra Seca en gramos

VP: Volumen de Picnómetro en cm<sup>3</sup>

PA: Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida al picnómetro

PMSS: Peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco

### **Contenido de Humedad de los Agregados.**

*Equipos y herramientas.* Cápsulas de metal, horno y balanza

*Muestra.* Se realizó el cuarteo correspondiente hasta reducir la muestra a aproximadamente la cantidad mínima indicada en la siguiente tabla:

**Tabla 16**

*Cantidad de muestra mínima para el ensayo de contenido de humedad de agregados*

<b>Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulgada)</b>	<b>Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg</b>
4.75 (0.187) (N°4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
5.0 (1)	4.0
37.5 (2 1/2)	6.0
50.0 (2)	8.0

*Nota.* En este caso, la muestra mínima fue de 3 kg. Fuente: Manual de ensayos MTC E215.

*Procedimiento en laboratorio.* Se pesaron las cápsulas metálicas vacías, también se registró su peso con las muestras antes de secarse en el horno por 24 horas y después.

**Figura 61**

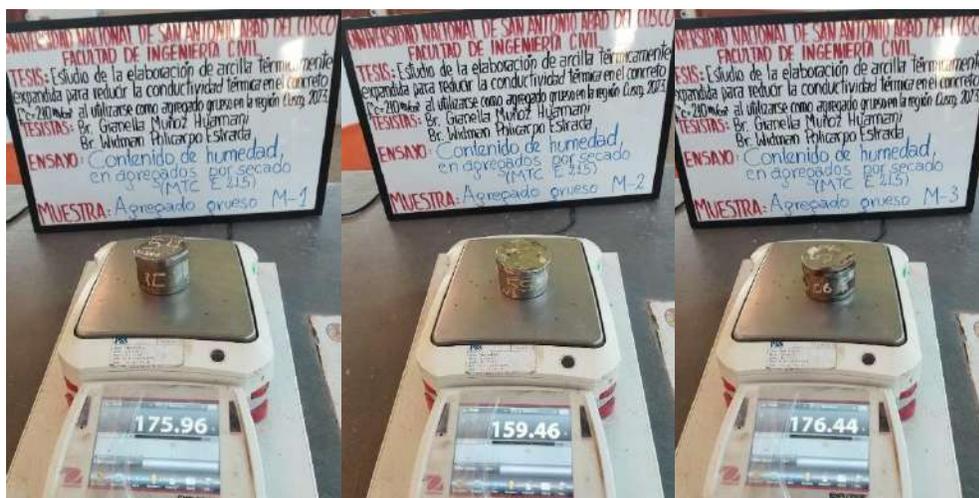
*Pesos de las cápsulas con las muestras de agregado fino después del horno*



*Nota.* Se realizó el pesado de las capsulas con agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 62**

*Pesos de las cápsulas con las muestras de piedra chancada después del horno*



*Nota.* Pesado de las capsulas con agregado grueso piedra chancada. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 63**

*Pesos de las cápsulas con las muestras de arcilla térmicamente expandida después del horno*



*Nota.* Pesado de capsulas con arcilla expandida. Fuente: Elaboración propia.

### **Resistencia a la Abrasión mediante la Máquina de Los Ángeles**

**Equipos y herramientas.** Máquina de Los Ángeles, tamices, balanza y carga; esta carga consiste en esferas de acero y se determinaron de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Número de esferas por gradación*

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

*Nota.* La gradación correspondiente al agregado grueso utilizado (piedra chancada de la cantera Vicho y arcilla térmicamente expandida) es B, por lo que el número de esferas utilizado fue de 11. Fuente: Manual de ensayos MTC E207.

**Muestra.** Se realizó el lavado respectivo y se secó la muestra en el horno por 24 horas.

**Tabla 18**  
*Gradación de las muestras de ensayo*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (g)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	--	--	--
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	--	--	--
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	--	--	2500 ± 10	--
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)	--	--	2500 ± 10	--
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	--	--	--	5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

*Nota.* En la presente investigación la piedra chancada y la arcilla térmicamente expandida poseen tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ", por lo que corresponden a la gradación B. Fuente: Manual de ensayos MTC E207.

**Procedimiento en laboratorio.** Se procedió a colocar la muestra en la máquina de Los Ángeles y rotarla por 15 minutos, teniendo así 500 revoluciones; seguidamente, se descargó todo el material procesado para, finalmente, separar el material más fino con ayuda del tamiz N°12.

**Figura 64**

*Ensayo de abrasión de la piedra chancada de la cantera Vicho*



*Nota.* Se puede observar la secuencia de tamizado de la piedra chancada, colocación de esferas y la piedra chancada después del ensayo de abrasión. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 65**

*Ensayo de abrasión de la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco*



*Nota.* En la primera imagen se observa el tamizado de arcilla térmicamente expandida, en la segunda, se observa la colocación de material en la máquina de Los Ángeles, en la tercera y cuarta imagen, se muestra el material después del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

### ***Diseño de mezcla***

**Diseño de Mezcla para Concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con Piedra Chancada de la Cantera Vicho.** El diseño de mezclas se realizó mediante el método del comité ACI 211, para la obtención de un concreto con resistencia a la compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Una vez determinadas las características de los agregados anteriormente descritos, se determinaron las características de los componentes restantes, tales como el cemento, cuyas características se obtienen de la ficha técnica del fabricante de cemento YURA IP, y las características del agua que se utilizara en la elaboración del concreto. Con la caracterización de los componentes que forman parte de la elaboración del concreto se procede a estimar las proporciones necesarias de cada componte.

**Tabla 19***Características de los componentes de la mezcla de concreto*

<b>Cemento</b>				
Marca:	Yura	Peso Específico:	2.82	g/cm <sup>3</sup>
Tipo:	IP	Peso Volumétrico:	1500	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>				
Agua potable de la red pública		Peso específico:	1	g/cm <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>				
Tipo de agregado:	Anguloso	Peso específico:	2.597	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad:	1.65%	Absorción:	1.87%	
Tamaño máximo nominal:	3/4"	Peso unitario varillado:	1553.67	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>				
Tipo de Agregado:	Arena Gruesa	Peso Específico:	2.73	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad:	1.78%	Absorción:	1.97%	
Módulo de Fineza:	2.95			

*Nota.* Se tiene los parámetros necesarios para el diseño de mezclas. Fuente: Elaboración propia.

***Determinación de la resistencia requerida.*** No se cuenta con datos estadísticos de registros de resistencia, por lo que, la resistencia promedio requerida se determinó utilizando la siguiente tabla:

**Tabla 20***Resistencia promedio requerida*

<b>Resistencia especificada a la compresión (<math>f'c</math>), kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia promedio requerida a la compresión (<math>f'cr</math>), kg/cm<sup>2</sup></b>
$f'c$ menor a 210 kg/cm <sup>2</sup>	$f'cr = f'c + 70$ kg/cm <sup>2</sup>
$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = f'c + 84$ kg/cm <sup>2</sup>
$f'c$ mayor a 350 kg/cm <sup>2</sup>	$f'cr = f'c + 98$ kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* En este caso, la resistencia de diseño es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que el  $f'cr = f'c + 84$  kg/cm<sup>2</sup>.

Fuente: Adaptado de (ACI COMITE 211, 2002)

A partir de la tabla se obtiene:

$$f'cr = f'c + 84 = 210 + 84 \rightarrow f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

**Determinación del contenido de agua y aire atrapado.** El contenido de agua y aire se determina en función a la siguiente tabla:

**Tabla 21**

*Agua en kg/m<sup>3</sup>, para los tamaños máximos nominales de los agregados y los asentamientos indicados*

Asentamiento	Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto Sin Aire Incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Porcentaje de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto Con Aire Incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-
Porcentaje de aire atrapado por nivel de exposición								
Exposición leve	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	8	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

*Nota.* El tamaño máximo nominal es de 3/4" y un asentamiento de 3".

Fuente: Adaptado de (ACI COMITE 211, 2002)

Ya que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/4" y se tiene un asentamiento de 3", se tiene que la cantidad de agua necesaria es de 205 litros y el contenido de aire atrapado es de 2%.

**Relación agua cemento.** Se obtiene de la siguiente tabla que relaciona la resistencia promedio a la compresión del concreto y el contenido de aire con la relación agua/cemento.

**Tabla 22**

*Relación Agua/Cemento, aproximado, en peso para concreto*

<b>f'cr (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Sin Aire Incorporado</b>	<b>Con Aire Incorporado</b>
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	0.35
450	0.38	0.31
500	0.33	-

*Nota:* Cuando el valor de resistencia no se encuentra determinado en la tabla, se debe realizar una interpolación. Fuente: Adaptado de (ACI COMITE 211, 2002)

Se tiene que el valor de f'cr es 294 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto, se determina interpolando entre los valores de 250 kg/cm<sup>2</sup> y 350kg/cm<sup>2</sup>.

$$250 \rightarrow 0.62$$

$$294 \rightarrow a/c$$

$$300 \rightarrow 0.55$$

$$\frac{300 - 250}{294 - 250} = \frac{0.55 - 0.62}{a/c - 0.62} \rightarrow a/c = \frac{-0.07 \times 44}{50} + 0.62 \rightarrow a/c = 0.558$$

***Determinación de la cantidad de cemento.*** Este cálculo se realiza en función a la cantidad de agua determinada y la relación agua/cemento obtenido.

$$\text{Cantidad de agua} = 205 \text{ kg ; } a/c = 0.558$$

$$\text{Cantidad de cemento (c)} = \frac{\text{Cantidad de agua}}{(a/c)} = \frac{205}{0.558} = 367.120 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor cemento} = 8.638 \text{ bolsas/m}^3$$

**Cálculo de la cantidad inicial de agregado grueso.** Se obtiene a través de la siguiente tabla, que relaciona el módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el volumen inicial del agregado grueso.

**Tabla 23**

*Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de Fineza del Agregado Fino			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

*Nota.* Si el valor de módulo de fineza no se encuentra, se deberá interpolar. Fuente: Adaptado de (ACI COMITE 211, 2002)

Interpolando para 2.95, se halla el factor de volumen para calcular el peso del agregado grueso, a partir de los valores ubicados.

$$2.8 \rightarrow 0.62$$

$$2.95 \rightarrow V$$

$$3.0 \rightarrow 0.60$$

$$\frac{3.0 - 2.8}{2.95 - 2.8} = \frac{0.60 - 0.62}{V - 0.62} \rightarrow V = \frac{-0.02 \times 0.15}{0.2} + 0.62 \rightarrow \text{Factor de volumen} = 0.605 \text{ m}^3$$

Para obtener el peso del agregado, se multiplicó por su peso unitario compactado que es de 1553.67 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Peso del agregado grueso} = 1553.67 \times 0.605 = 939.97 \text{ kg.}$$

***Cálculo de volúmenes de agregado grueso, agua y cemento.***

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{\text{Peso de agregado}}{\text{Peso específico del agregado}} = \frac{939.97 \text{ kg}}{2597.00 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} \equiv 0.3619 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso específico del agua}} = \frac{205 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de agua} \equiv 0.2050 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso de cemento}}{\text{Peso específico del cemento}} = \frac{367.12 \text{ kg}}{2800 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de cemento} \equiv 0.1311 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire} = 2\% \equiv 0.0200 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes} = 0.7181 \text{ m}^3$$

***Cálculo del volumen de agregado fino.***

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1 - \text{Sumatoria de volúmenes} = 1 - 0.7181$$

$$\text{Volumen de agregado fino} = 0.2819 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino} = (\text{Volumen de agregado}) \times (\text{Peso específico del agregado})$$

$$\text{Peso del agregado fino} = (0.2819 \text{ m}^3) \times (2730.0 \text{ kg/m}^3) = 769.70 \text{ kg}$$

***Diseño con pesos en estado seco.*****Tabla 24***Peso seco de los componentes por metro cúbico del concreto*

<b>Materiales</b>	<b>Volumen absoluto (m3)</b>	<b>Peso específico (kg/m3)</b>	<b>Pesos Secos (kg/m3)</b>
Cemento	0.1311	2800	367.12
Agua	0.205	1000	205
Agregado Grueso	0.3619	2597	939.97
Agregado Fino	0.2819	2730	769.7
Aire	0.02	-	-
Total	1		2281.79

*Nota.* Estos valores serán afectados por la corrección por agregados. Fuente: Elaboración propia.

***Corrección por humedad de los agregados.***

$$\text{Agregado grueso} = (\text{peso seco}) \times (\% \text{ de humedad} + 1)$$

$$\text{Agregado grueso} = 939.97 \times (0.0165 + 1) = 955.480 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = (\text{peso seco}) \times (\% \text{ de humedad} + 1)$$

$$\text{Agregado fino} = 769.70 \times (0.0178 + 1) = 783.399 \text{ kg}$$

***Corrección por absorción de los agregados (aporte de agua).***

$$\text{Agregado grueso} = (\text{peso seco}) \times (\% \text{ de absorción} - \% \text{ de humedad})$$

$$\text{Agregado grueso} = 939.97 \times (0.0187 - 0.0165) = 2.068 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = (\text{peso seco}) \times (\% \text{ de absorción} - \% \text{ de humedad})$$

$$\text{Agregado fino} = 769.70 \times (0.0197 - 0.0178) = 1.462 \text{ kg}$$

$$\text{Agua libre (aporte de agua)} = 3.530 \text{ kg} \equiv 3.530 \text{ L}$$

***Determinación de agua efectiva.***

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua teórica} + \text{agua libre}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 + 3.530 = 208.53 \text{ L}$$

**Obtención del diseño teórico húmedo.**

$$\text{Cemento efectivo} = (\text{agua efectiva}) \times (a/c)$$

$$\text{Cemento efectivo} = 208.53 \times 0.56 = 373.44 \text{ kg}$$

**Determinación de las proporciones para 1 m<sup>3</sup> de concreto.****Tabla 25**

*Proporciones corregidas de los componentes de la mezcla para 1 m<sup>3</sup> de concreto*

<b>Materiales</b>	<b>Pesos húmedos (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	373.44
Agua	208.53
Agregado Grueso	955.48
Agregado Fino	783.40

*Nota.* Se usarán estos valores para determinar las cantidades necesarias de cada componente para la elaboración de briquetas cilíndricas. Fuente: Elaboración propia.

**Diseño de Mezcla para Concreto f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> con Arcilla Térmicamente**

**Expandida.** Una vez obtenidas las cantidades de cada componente en el diseño de mezcla para el concreto patrón, procedemos a sustituir la piedra chancada por la arcilla térmicamente expandida. Esto lo hacemos obteniendo el volumen de agregado grueso del diseño de mezcla, para después multiplicarlo por el peso específico aparente de la arcilla térmicamente expandida y así hallar el peso exacto necesario para la mezcla.

$$PATE = VPC \times PEATE$$

PATE: Peso de la arcilla térmicamente expandida requerida en el diseño de mezcla.

PEATE: Peso específico aparente de la arcilla térmicamente expandida.

VPC: Volumen de piedra chancada (agregado grueso) requerida en el diseño de mezcla.

$$\text{Volumen de piedra chancada} = \frac{\text{Peso de piedra chancada requerido en la mezcla}}{\text{Peso específico aparente de la piedra chancada}}$$

### *Elaboración y curado de especímenes de concreto*

Se utilizaron moldes herméticos y de materiales no absorbentes para evitar la pérdida de agua de la mezcla de concreto, dichos moldes fueron engrasados para impedir la adherencia entre estos y la mezcla de concreto., también se prepararon los materiales necesarios de acuerdo al diseño de mezcla realizado.

#### **Figura 66**

##### *Preparación de materiales para la mezcla de concreto*



*Nota.* Se muestra el registro de peso de cada componente de la mezcla. Fuente: Elaboración propia.

La mezcla y moldeo se realizaron en las instalaciones exteriores del laboratorio de mecánica de suelos y materiales, donde también fraguaron 24 horas antes de su curado. La colocación de concreto en los moldes se realizó de acuerdo al MTC E702, en el caso de los testigos cilíndricos se realizó el apisonado por varillado en tres capas iguales, mientras que el apisonado para los bloques de 30cm x 30cm x 2.54cm fue en una capa; sin embargo, para ambos

casos se trabajó con 25 golpes por capa y se efectuó una vibración manual, con ayuda de un combo de goma.

### **Figura 67**

*Colocación de concreto en moldes*



*Nota.* En la primera imagen, se observa el vertido de concreto en briqueteras de 15cm de diámetro x 30 cm de altura. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 68**

*Bloques y briquetas de concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  con piedra chancada de la cantera Vicho*



*Nota.* Se observan bloques y briquetas al finalizar su vaciado. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 69**

*Bloques y briquetas de concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  con arcilla térmicamente expandida.*



*Nota.* A la izquierda se observan los bloques que serán utilizados en el ensayo de conductividad térmica y a la derecha las briquetas cilíndricas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 70***Desmoldaje de especímenes*

*Nota.* El desmoldaje se realizó 24 después del vertido de concreto, para colocar las muestras en el pozo de curado. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 71**

*Curado de bloques y briquetas de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con piedra chancada de la cantera Vicho y concreto  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  con arcilla térmicamente expandida.*



*Nota.* Las imágenes superiores muestran el curado de las briquetas cilíndricas y la imagen inferior muestra el curado de los bloques cuadrados, Fuente: Elaboración propia.

### ***Determinación del asentamiento de la mezcla de concreto (SLUMP)***

Se procedió de acuerdo al MTC E705, colocando el cono de Abrams en una superficie horizontal plana y no absorbente, sujetándolo firmemente con los pies, llenándolo en tres capas, compactando cada una de ellas con 25 golpes. Finalmente, se alza el cono verticalmente, sin realizar ningún movimiento lateral y se mide el asentamiento.

**Figura 72**

*Asentamiento de la mezcla de concreto con piedra chancada para bloques.*



*Nota.* El asentamiento fue de aproximadamente 3". Fuente: Elaboración propia.

**Figura 73**

*Asentamiento de la mezcla de concreto con piedra chancada para briquetas.*



*Nota.* El asentamiento fue de aproximadamente 3". Fuente: Elaboración propia.

El slump obtenido es óptimo, la mezcla fue trabajable tanto en las briquetas como en los bloques, además garantizó el diseño de mezcla.

**Figura 74**

*Asentamiento de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para bloques*



*Nota.* El asentamiento fue de aproximadamente  $2\frac{5}{8}$ ". Fuente: Elaboración propia.

**Figura 75**

*Asentamiento de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para briquetas*



*Nota.* El asentamiento fue de aproximadamente  $2\frac{5}{8}$ ". Fuente: Elaboración propia.

Se observó una mezcla poco trabajable, tanto en los bloques, como en las briquetas, razón por la cual se requirió de mayor vibrado al momento de la colocación en los moldes respectivos.

### ***Determinación del peso unitario en estado fresco del concreto***

Se utilizó un proctor modificado de 15 cm de diámetro y 16.5 cm de altura, se pesó antes de realizar el ensayo, se llenó el proctor en 3 capas iguales, apisonando con 25 golpes en cada capa y finalmente se pesó el proctor con la mezcla de concreto.

**Figura 76**

*Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con piedra chancada para bloques*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**Figura 77**

*Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con piedra chancada para briquetas*



*Nota.* Se observa el pesado del concreto patrón en estado fresco. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 78**

*Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para bloques*



*Nota.* Se muestra el pesado del concreto con arcilla expandida. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 79**

*Peso unitario en estado fresco de la mezcla de concreto con arcilla térmicamente expandida para briquetas*



*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### ***Ensayo de resistencia a la compresión de testigos de concreto.***

Se registraron el peso, dimensiones de diámetro y altura de cada briqueta, con el fin de asegurar que ningún diámetro difiera en más del 2% con otro diámetro de la misma briqueta. Seguidamente para obtener superficies planas, se realizó el refrentado de los testigos cilíndricos

con yeso de alta resistencia de 3.5 MPa y finalmente, cada una de las briquetas fue ensayada en la máquina de compresión.

**Concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con Piedra Chancada de la Cantera Vicho.**

*Resistencia a la compresión a los siete días.*

**Figura 80**

*Preparación de testigos cilíndricos*



*Nota.* Se muestra el registro del peso y dimensiones de los testigos cilíndricos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 81**

*Briquetas ensayadas a compresión*



*Nota.* Se muestran las briquetas luego del ensayo a compresión. Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de resistencia a los 14 días.

**Figura 82**

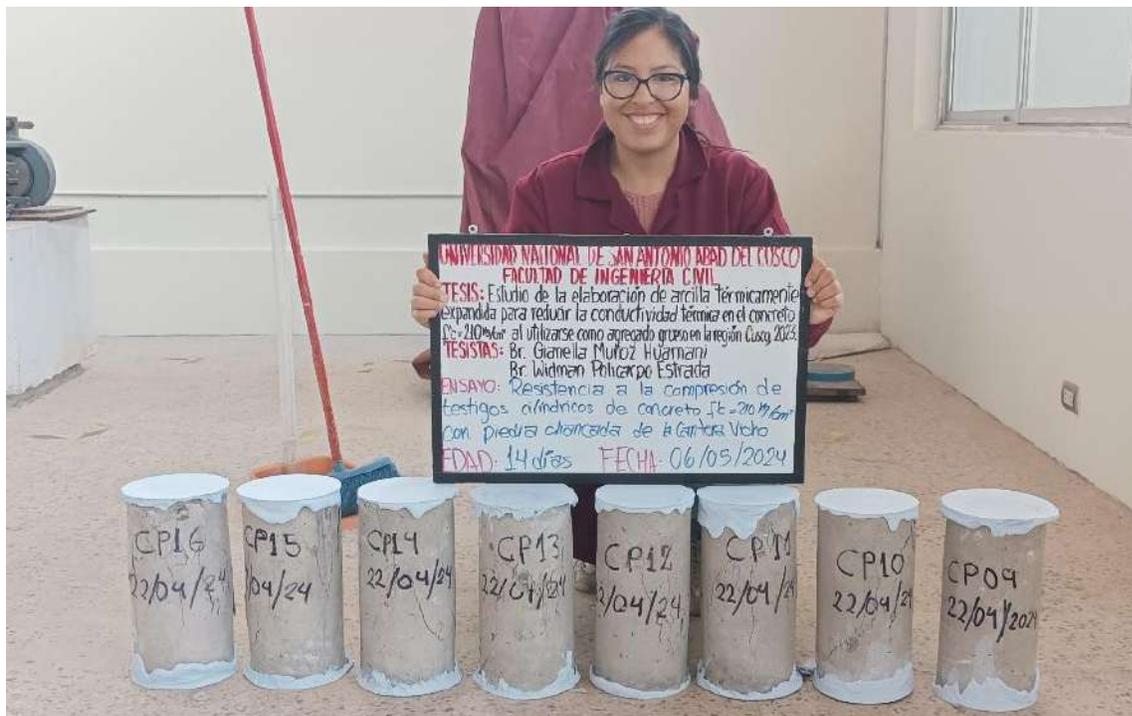
*Preparación de testigos cilíndricos*



*Nota.* Se observa el refrentado de las briquetas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 83**

*Briquetas ensayadas a compresión*

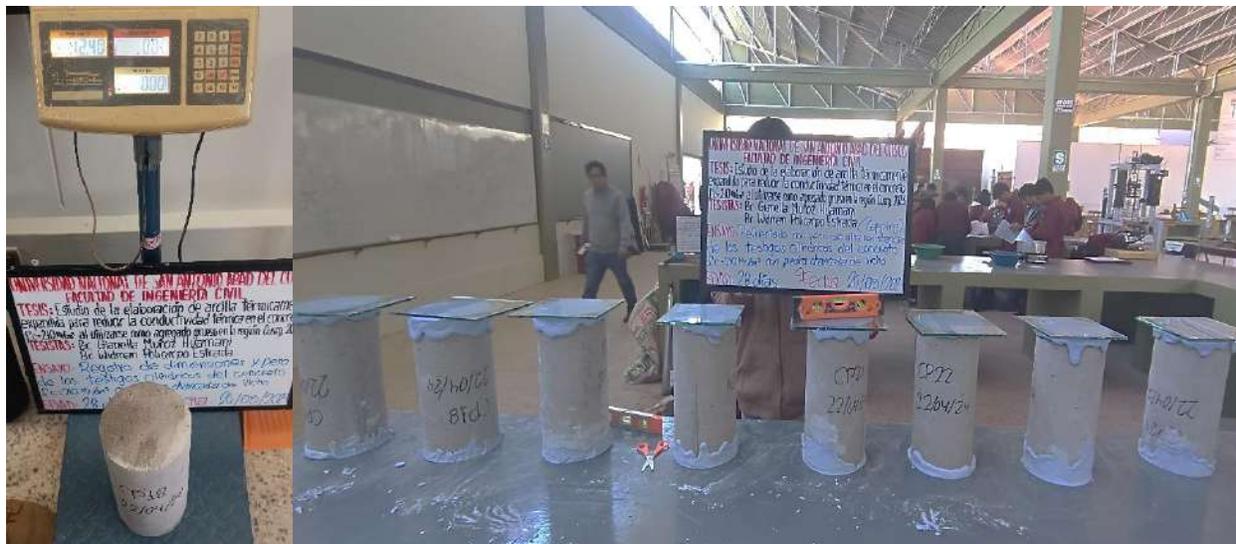


*Nota.* Briquetas luego del ensayo de compresión a los 14 días. Fuente: Elaboración propia.

### Resistencia a la compresión a los 28 días.

**Figura 84**

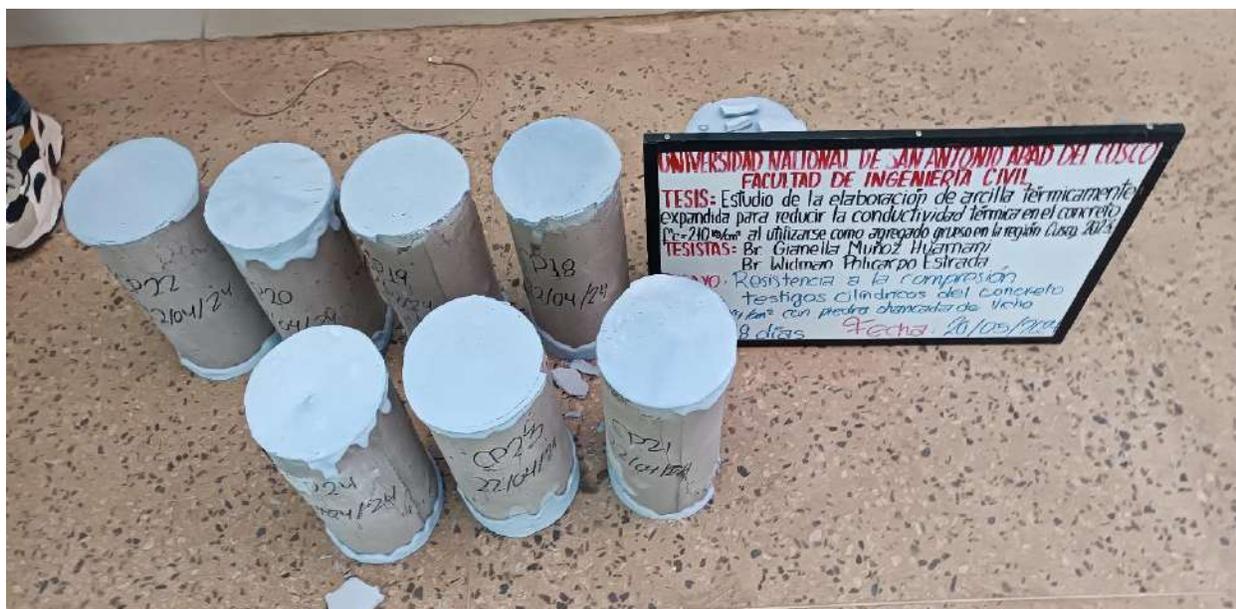
*Preparación de muestras cilíndricas.*



*Nota.* Pesado y refrentado de las briquetas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 85**

*Briquetas ensayadas a compresión.*



*Nota.* Briquetas luego del ensayo a compresión a los 28 días. Fuente: Elaboración propia.

Concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con arcilla térmicamente expandida.

*Ensayo de resistencia a la compresión a los siete días.*

**Figura 86**

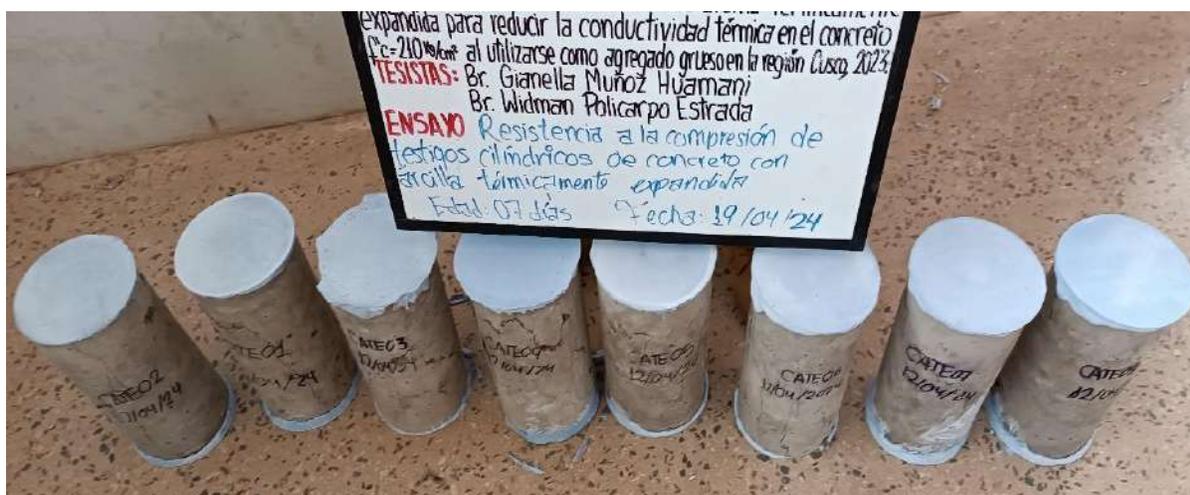
*Preparación de las briquetas de concreto patrón para siete días*



*Nota.* Pesado y refrentado de las briquetas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 87**

*Briquetas ensayadas a compresión axial*



*Nota.* Briquetas luego del ensayo de compresión a los 07 días. Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días.

**Figura 88**

*Preparación de los testigos cilíndricos*



*Nota.* Pesado y refrentado de briquetas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 89**

*Briquetas ensayadas a compresión*



*Nota.* Briquetas luego del ensayo de compresión a los 14 días. Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.

**Figura 90**

*Preparación de testigos cilíndricos*



*Nota.* Pesado y refrentado de briquetas. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 91**

*Briquetas ensayadas a compresión*



*Nota.* En las briquetas ensayadas a compresión se evidencia la buena adherencia existente entre el mortero y la arcilla térmicamente expandida. Fuente: Elaboración propia.

### ***Determinación de la conductividad térmica del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .***

Para determinar la conductividad térmica del concreto, se utilizó un medidor de flujo de calor HFM-100 del laboratorio de la escuela profesional de Física de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco a cargo de la Lic. Giovanna Guzmán Cáceres. Este equipo consta de un dispositivo refrigerante industrial para mantener las temperaturas requeridas y una PC, en la que se procesan los datos a través de un software.

#### ***Figura 92***

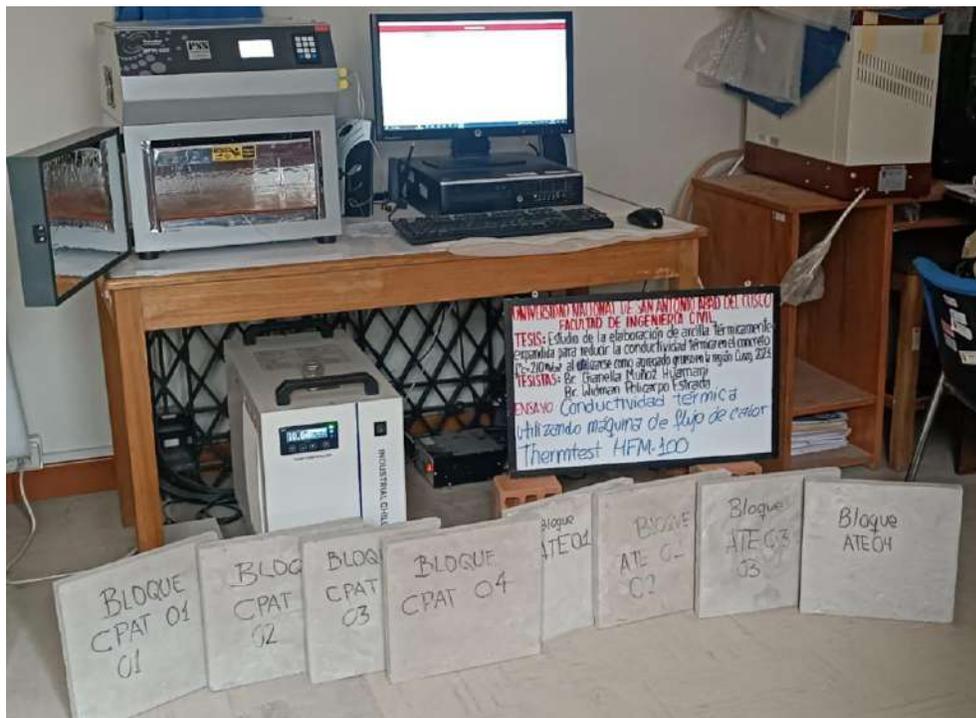
##### ***Equipo de conductividad térmica***



*Nota.* En las imágenes se muestra como el equipo determina el espesor de cada muestra mediante sus sensores. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 93**

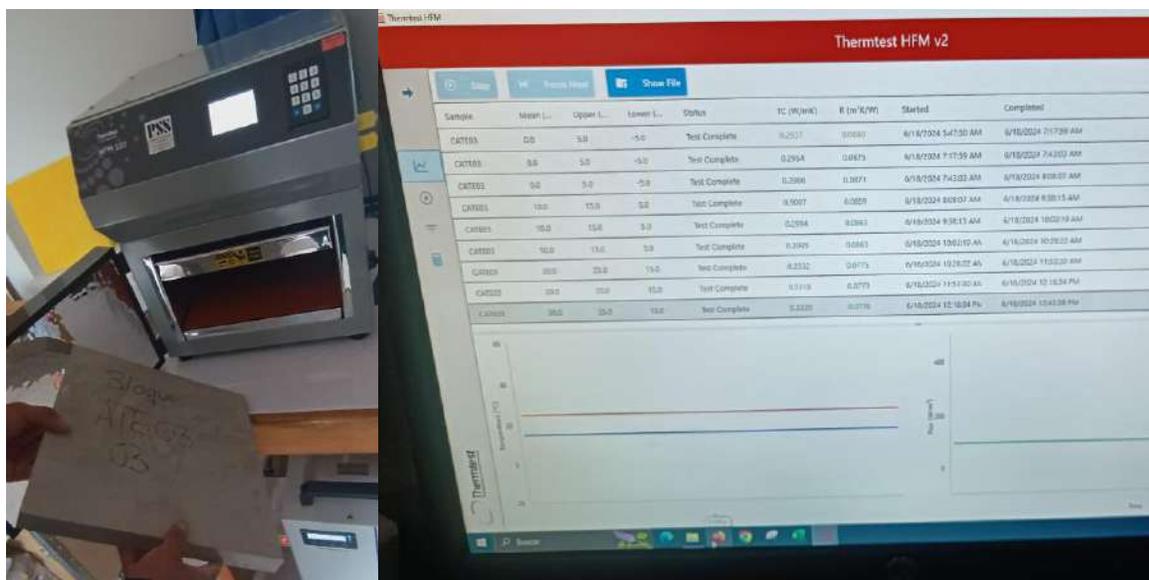
Bloques de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  de  $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 2.54\text{cm}$ .



Nota. Se observan 04 muestras para cada tipo de concreto. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 94**

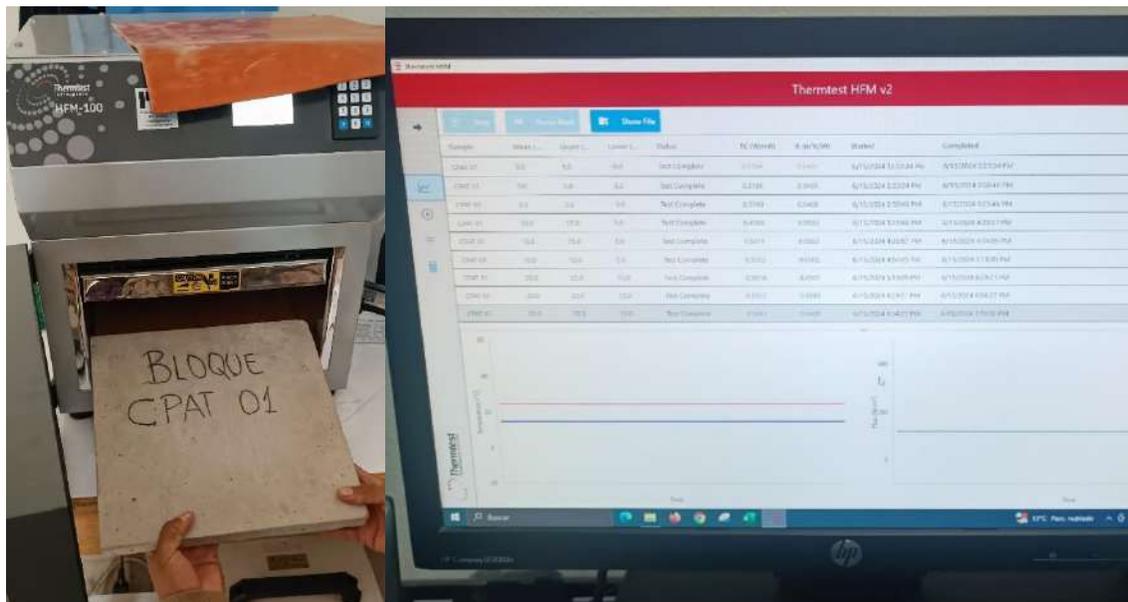
Ensayo de conductividad térmica de bloques de concreto con arcilla térmicamente expandida



Nota. A la izquierda se observa la colocación de una muestra con arcilla expandida, y a la derecha el software que registra los datos del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 95**

*Ensayo de conductividad térmica de concreto patrón con piedra chancada de la cantera Vicho.*



*Nota.* A la izquierda se observa la colocación de una muestra de concreto patrón, y a la derecha la inicialización del ensayo controlado por el software. Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### Resultados del Ensayo de Granulometría de las Arcillas

#### *Resultados de la Granulometría de la Arcilla de San Jerónimo*

El ensayo de granulometría para la arcilla de San Jerónimo se realizó con una muestra de 2000.82 g, de los cuales más del 50% pasa el tamiz N°200, caracterizándose como un suelo fino.

**Tabla 26**

*Granulometría de la arcilla de San Jerónimo*

<b>GRANULOMETRÍA</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
3/8 "	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.760	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.380	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°16	1.190	0.02	0.00%	0.00%	100.00%
N°30	0.590	0.44	0.02%	0.02%	99.98%
N°50	0.300	1.19	0.06%	0.08%	99.92%
N°100	0.149	1.62	0.08%	0.16%	99.84%
N°200	0.074	7.35	0.37%	0.53%	99.47%
Bandeja		1990.20	99.47%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2000.82</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

#### *Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Sicuani*

El ensayo de granulometría para la arcilla de San Jerónimo se realizó con una muestra de 2002.50 g, de los cuales más del 50% pasa el tamiz N°200, caracterizándose como un suelo fino.

Tabla 27

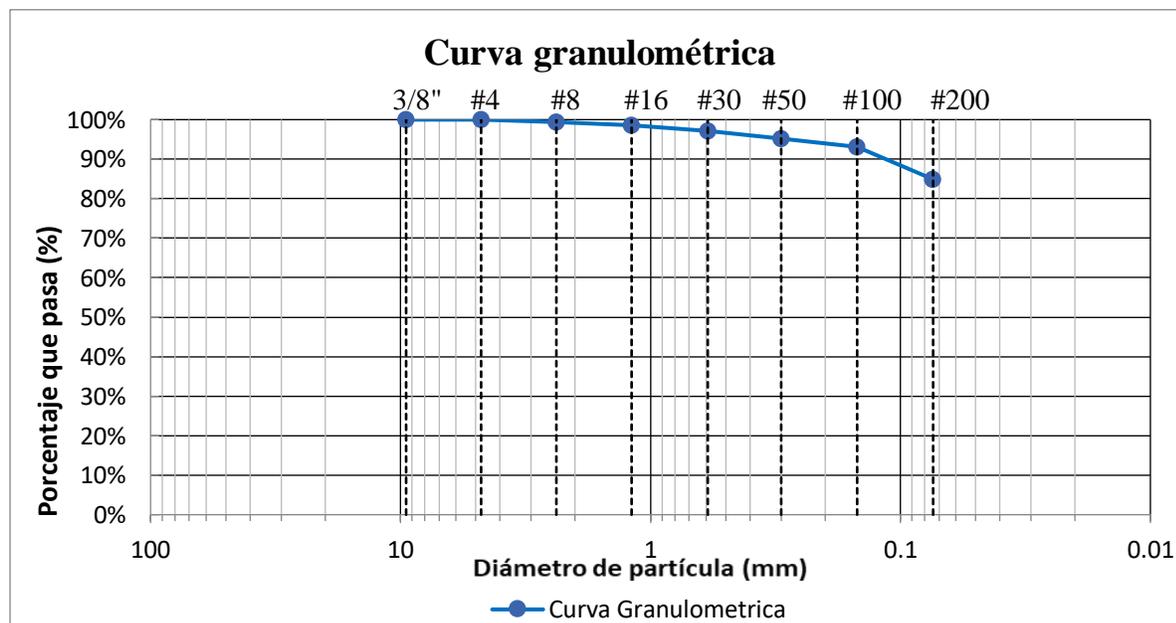
Granulometría de la arcilla de Sicuani

GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8 "	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.38	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°16	1.19	0.02	0.00%	0.00%	100.00%
N°30	0.59	0.44	0.02%	0.02%	99.98%
N°50	0.3	1.19	0.06%	0.08%	99.92%
N°100	0.149	1.62	0.08%	0.16%	99.84%
N°200	0.074	7.35	0.37%	0.53%	99.47%
Bandeja		1990.2	99.47%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2000.82</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 1

Curva granulométrica de la arcilla de Sicuani



*Nota.* Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

### *Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Huayanay*

El ensayo de granulometría para la arcilla de San Jerónimo se realizó con una muestra de 2000.27 g, de los cuales más del 50% pasa el tamiz N°200, lo que indica que corresponde a un suelo fino.

**Tabla 28**

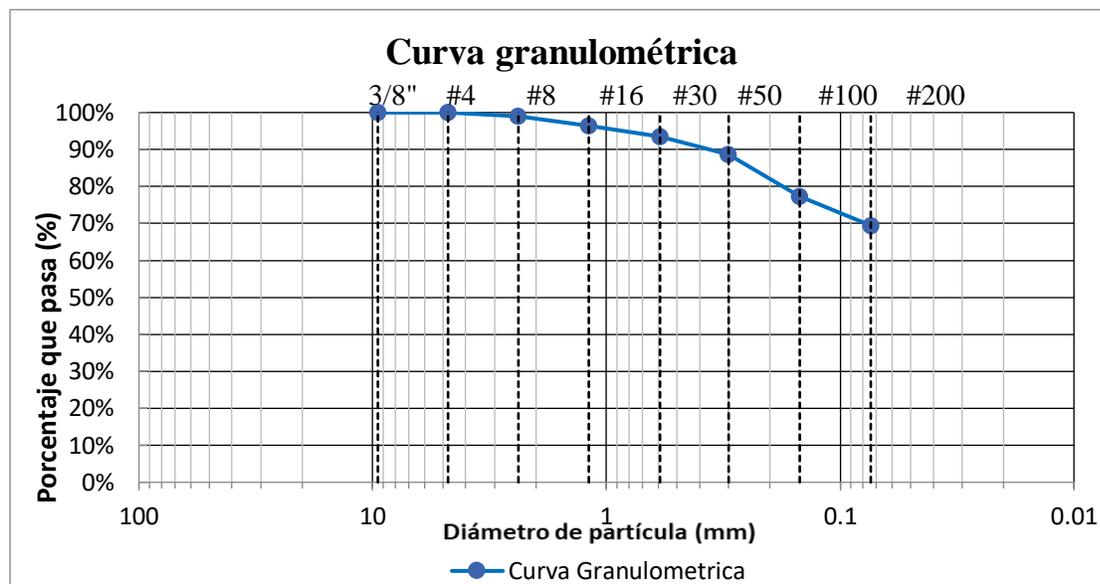
*Granulometría de la arcilla de Huayanay*

<b>GRANULOMETRÍA</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>
3/8 "	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.760	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.380	19.04	0.95%	0.95%	99.05%
N°16	1.190	52.49	2.62%	3.58%	96.42%
N°30	0.590	58.65	2.93%	6.51%	93.49%
N°50	0.300	97.37	4.87%	11.38%	88.62%
N°100	0.149	227.85	11.39%	22.77%	77.23%
N°200	0.074	155.83	7.79%	30.56%	69.44%
Bandeja		1389.04	69.43%	99.99%	-
<b>Total:</b>		<b>2000.27</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

## Gráfica 2

Curva granulométrica de la arcilla de Huayanay



Nota. Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

## Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Izcuchaca

Tabla 29

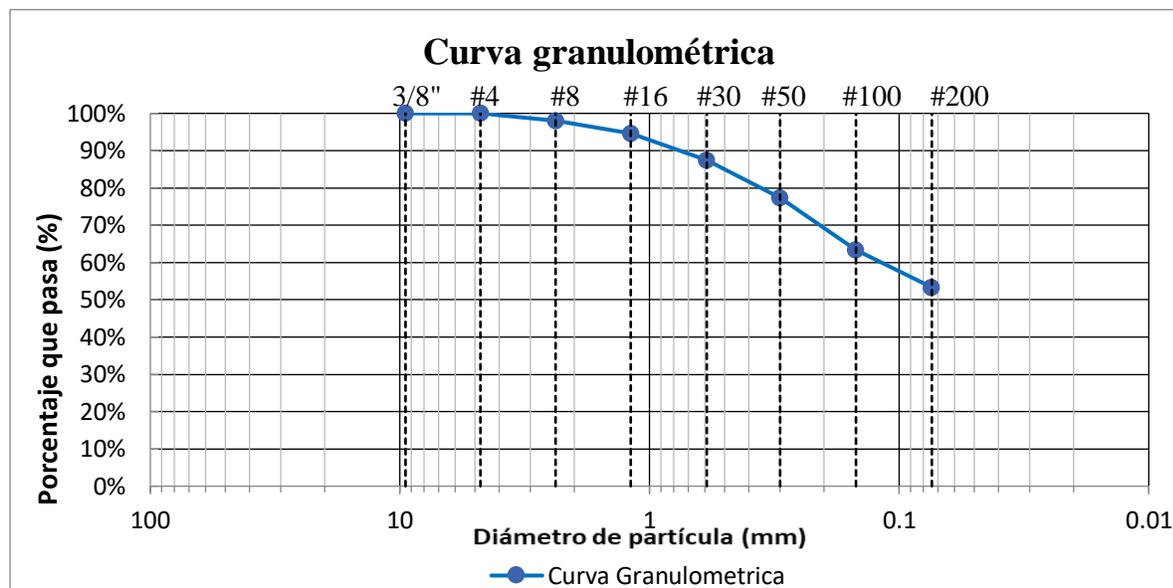
Granulometría de la arcilla de Izcuchaca

GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8 "	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.38	39.01	1.95%	1.95%	98.05%
N°16	1.19	69.49	3.47%	5.42%	94.58%
N°30	0.59	143.91	7.19%	12.61%	87.39%
N°50	0.3	201.58	10.07%	22.68%	77.32%
N°100	0.149	277.76	13.88%	36.56%	63.44%
N°200	0.074	201.95	10.09%	46.65%	53.35%
Bandeja		1067.6	53.35%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2001.3</b>	<b>100%</b>		

Nota. Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

### Gráfica 3

Curva granulométrica de la arcilla de Izcuchaca



Nota. Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

### Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Ocongate

Tabla 30

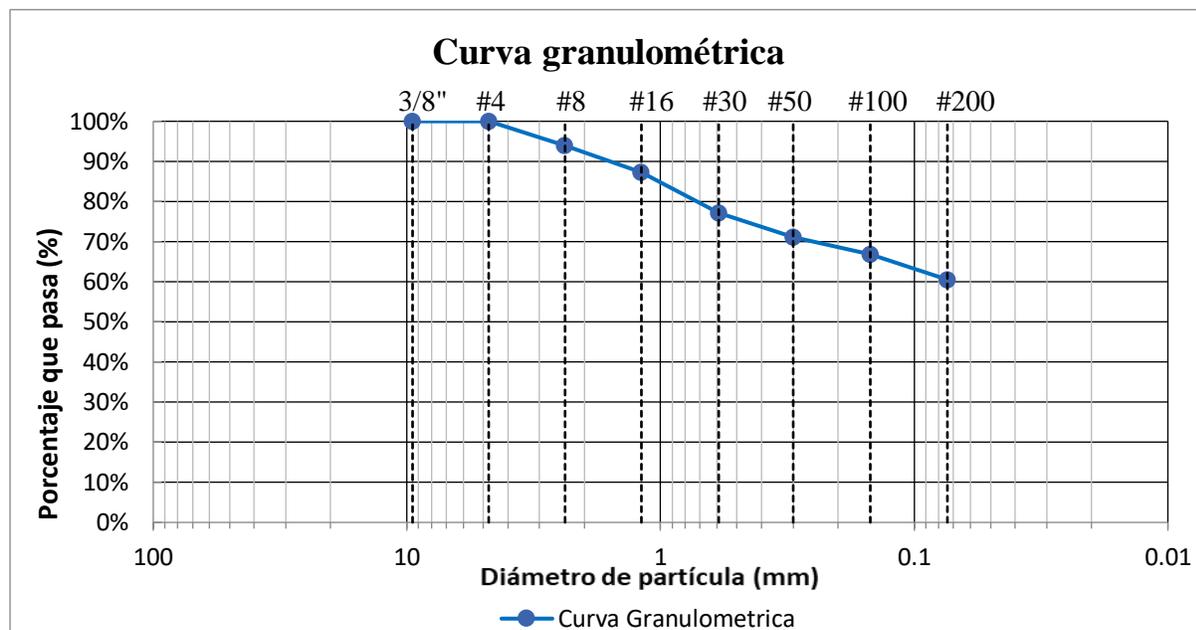
Granulometría de la arcilla de Ocongate

GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8 "	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.38	121.03	6.05%	6.05%	93.95%
N°16	1.19	131.85	6.59%	12.64%	87.36%
N°30	0.59	203.83	10.19%	22.83%	77.17%
N°50	0.3	122.6	6.13%	28.96%	71.04%
N°100	0.149	85.13	4.26%	33.22%	66.78%
N°200	0.074	125.25	6.26%	39.48%	60.52%
Bandeja		1210.62	60.52%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2000.31</b>	<b>100%</b>		

Nota. Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

### Gráfica 4

Curva granulométrica de la arcilla de Ocongate



*Nota.* Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

### Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Lamay

Tabla 31

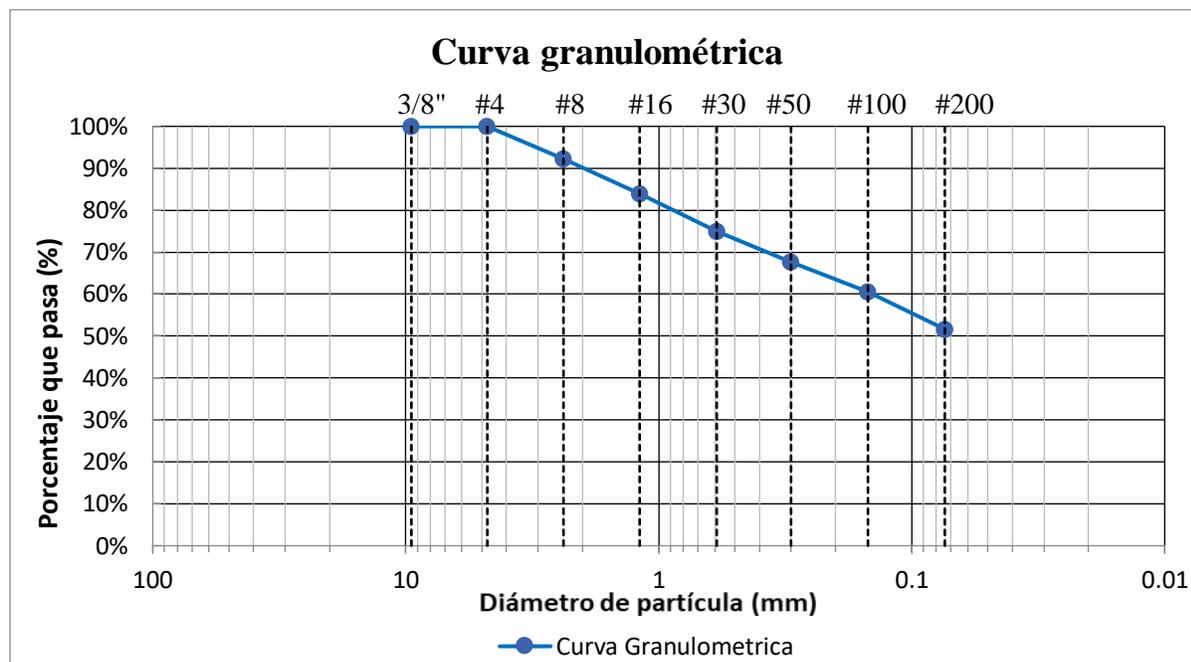
Granulometría de la arcilla de Lamay

GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8 "	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.38	155.31	7.77%	7.77%	92.23%
N°16	1.19	165.75	8.29%	16.05%	83.95%
N°30	0.59	178.91	8.95%	25.00%	75.00%
N°50	0.3	147.78	7.39%	32.39%	67.61%
N°100	0.149	142.57	7.13%	39.51%	60.49%
N°200	0.074	177.08	8.85%	48.37%	51.63%
Bandeja		1032.71	51.63%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2000.11</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

### Gráfica 5

Curva granulométrica de la arcilla de Lamay



Nota. Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

### Resultados de la Granulometría de la Arcilla de Checacupe

Tabla 32

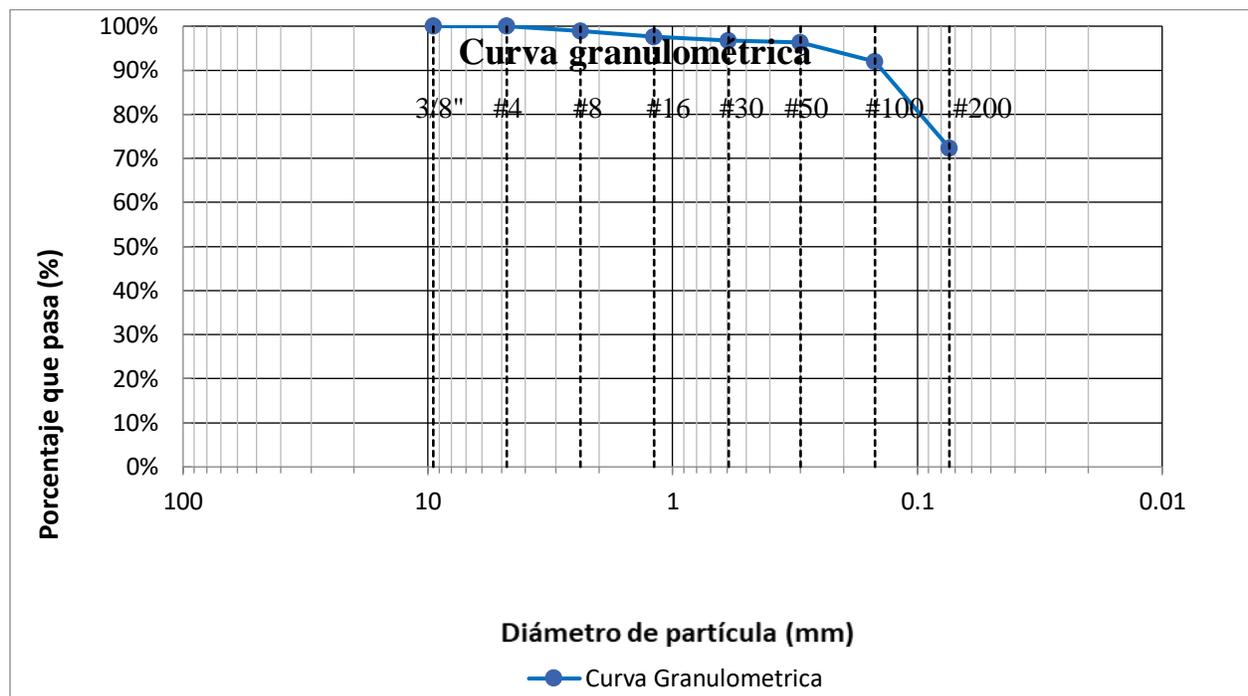
Granulometría de la arcilla de Checacupe

GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8 "	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°8	2.38	23.2	1.15%	1.15%	98.85%
N°16	1.19	24.48	1.22%	2.37%	97.63%
N°30	0.59	16.72	0.83%	3.20%	96.80%
N°50	0.3	10.76	0.53%	3.74%	96.26%
N°100	0.149	84.75	4.21%	7.95%	92.05%
N°200	0.074	396.37	19.70%	27.65%	72.35%
Bandeja		1455.79	72.35%	100.00%	-
<b>Total:</b>		<b>2012.07</b>	<b>100%</b>		

Nota. Se puede observar en la distribución granulométrica que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N°200, esto indica que corresponde a un suelo fino. Fuente. Elaboración propia.

## Gráfica 6

*Curva granulométrica de la arcilla de Checacupe*



*Nota.* Se utilizó los porcentajes que pasan por los tamices normalizados 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Fuente. Elaboración propia.

## Resultados de los Ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico de las Arcillas

### *Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de San Jerónimo*

Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de San Jerónimo es de LL= 30.61% y su límite plástico es de 18.74%.

**Tabla 33**

*Cálculo del límite líquido de la arcilla de San Jerónimo*

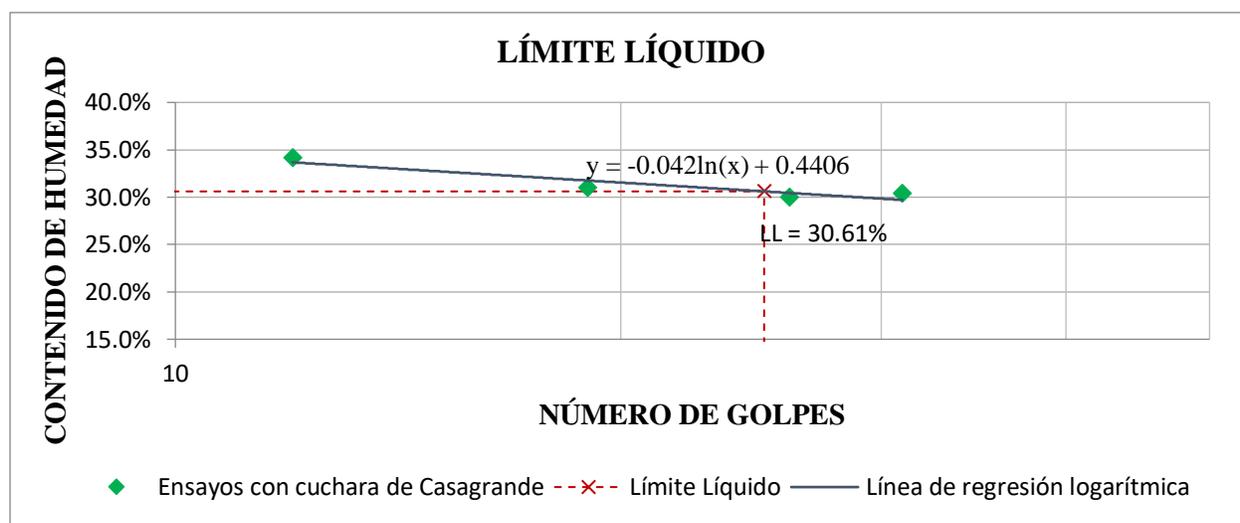
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>12</b>
Peso de Capsula (g)	57.36	58.49	60.72	57.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	60.66	62.78	66.72	61.15
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	59.89	61.79	65.30	60.31
Peso del Agua (g)	0.77	0.99	1.42	0.84
Peso de la Muestra Seca (g)	2.53	3.30	4.58	2.46
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>30.43%</b>	<b>30.00%</b>	<b>31.00%</b>	<b>34.15%</b>

*Nota.* Se detallan los valores necesarios para la determinación del límite líquido de cada muestra.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 7**

*Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo*



*Nota.* En el gráfico se muestra el valor obtenido del límite líquido para 25 golpes.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34**

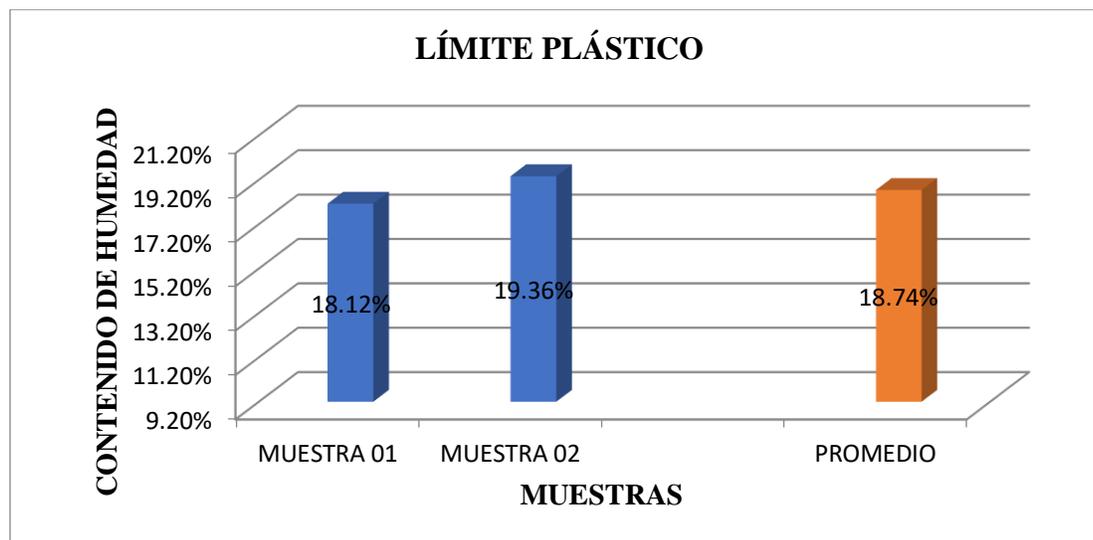
*Cálculo del límite plástico de la arcilla de San Jerónimo*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	21.36	22.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	26.77	28.45
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	25.94	27.48
Peso del Agua (g)	0.83	0.97
Peso de la Muestra Seca (g)	4.58	5.01
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>18.12%</b>	<b>19.36%</b>

*Nota.* El límite plástico se determinó a partir de estos valores. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 8**

*Valor promedio del límite plástico de la arcilla de San Jerónimo*



*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras.

Fuente: Elaboración propia.

### ***Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Sicuani***

Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de Sicuani es de LL= 67.95% y su límite plástico es de 28.66%.

Tabla 35

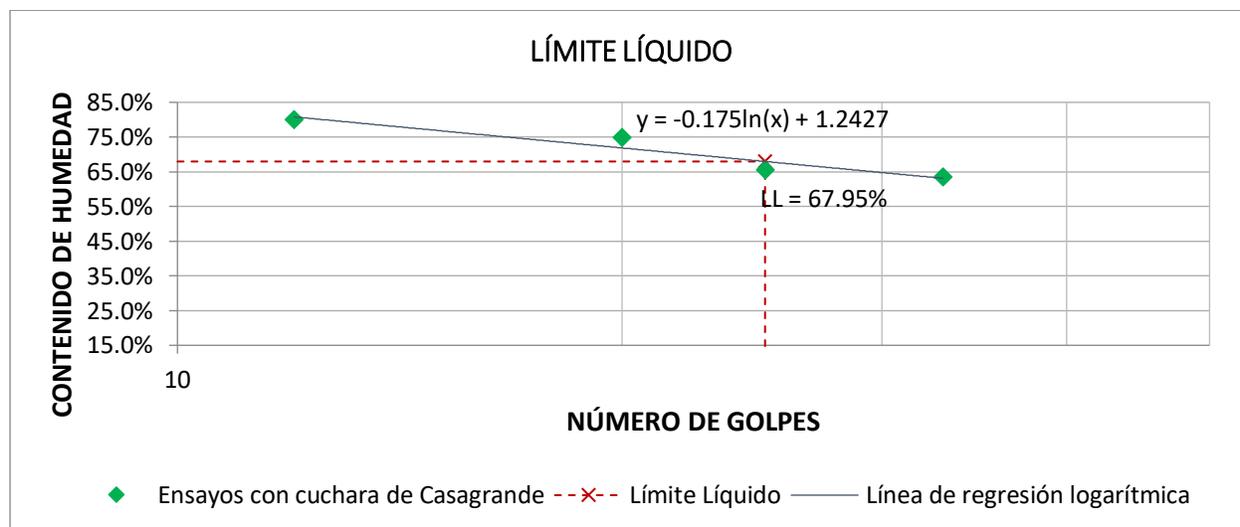
Cálculo del límite líquido de la arcilla de Sicuani

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>33</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
Peso de Capsula (g)	54.30	58.51	57.45	58.25
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	58.63	61.72	60.23	61.31
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	56.95	60.45	59.04	59.95
Peso del Agua (g)	1.68	1.27	1.19	1.36
Peso de la Muestra Seca (g)	2.65	1.94	1.59	1.70
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>63.40%</b>	<b>65.46%</b>	<b>74.84%</b>	<b>80.00%</b>

Nota. Se calculó el valor del límite líquido a partir de estos valores. Fuente. Elaboración propia.

Gráfica 9

Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo



Nota. El gráfico muestra el valor determinado del límite líquido para un número de 25 golpes.

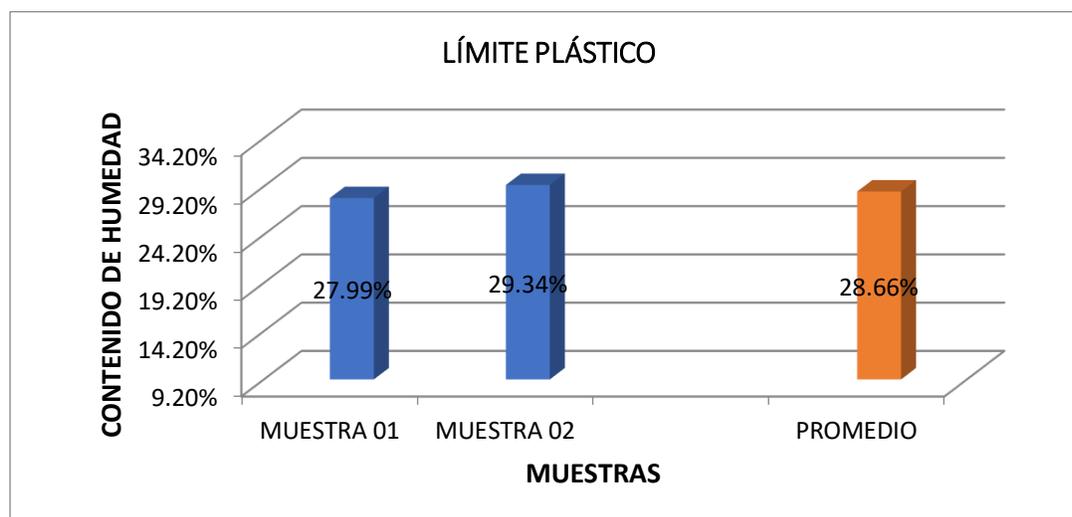
Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 36***Cálculo del límite plástico de la arcilla de Sicuani*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	21.96	22.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	27.63	27.42
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	26.39	26.27
Peso del Agua (g)	1.24	1.15
Peso de la Muestra Seca (g)	4.43	3.92
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>27.99%</b>	<b>29.34%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite plástico.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 10***Valor promedio del límite plástico de la arcilla de Sicuani*

*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras.

Fuente: Elaboración propia.

### ***Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Huayanay***

Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de Huayanay es de LL= 71.66% y su límite plástico es de 29.72%.

**Tabla 37**

*Cálculo del límite líquido de la arcilla de Huayanay*

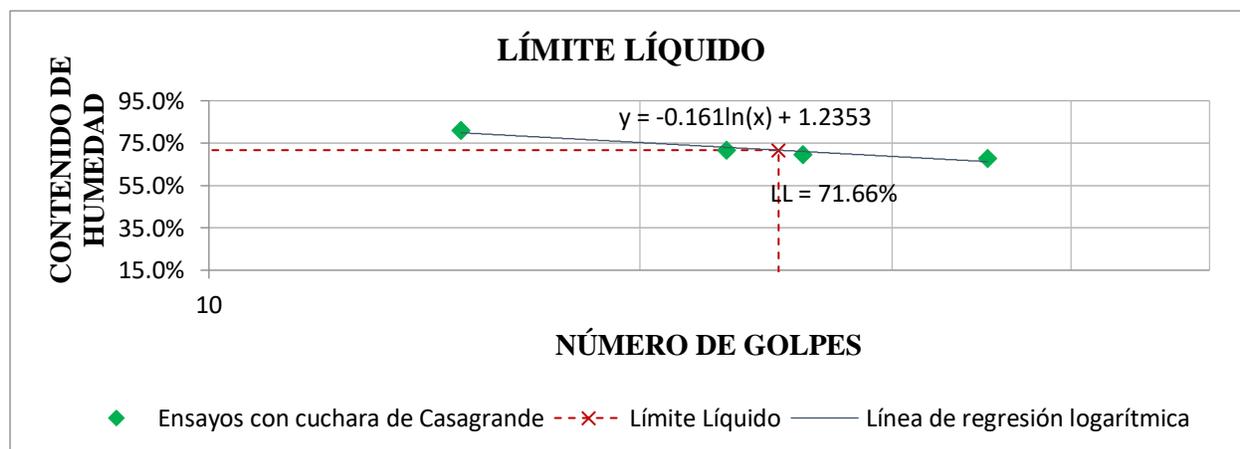
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>35</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>15</b>
Peso de Capsula (g)	57.85	57.33	58.48	57.85
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	61.88	60.28	61.26	59.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	60.25	59.07	60.10	58.75
Peso del Agua (g)	1.63	1.21	1.16	0.73
Peso de la Muestra Seca (g)	2.40	1.74	1.62	0.90
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>67.92%</b>	<b>69.54%</b>	<b>71.60%</b>	<b>81.11%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite líquido.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 11**

*Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo*



*Nota.* El gráfico muestra el valor determinado del límite líquido para un número de 25 golpes.

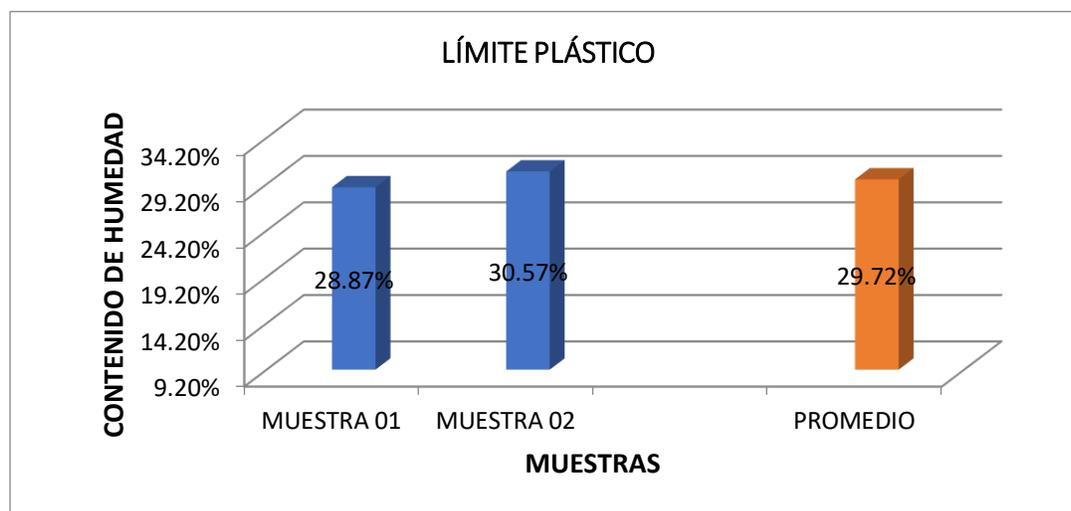
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38***Cálculo del límite plástico de la arcilla de Huayanay*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	57.32	58.48
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	62.32	64.16
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	61.20	62.83
Peso del Agua (g)	1.12	1.33
Peso de la Muestra Seca (g)	3.88	4.35
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>28.87%</b>	<b>30.57%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite plástico.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 12***Valor promedio del límite plástico de la arcilla de Huayanay*

*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras.

Fuente: Elaboración propia.

### ***Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Izcuchaca***

Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de Izcuchaca es de LL= 38.84% y su límite plástico es de 18.75%.

**Tabla 39**

*Cálculo del límite líquido de la arcilla de Izcuchaca*

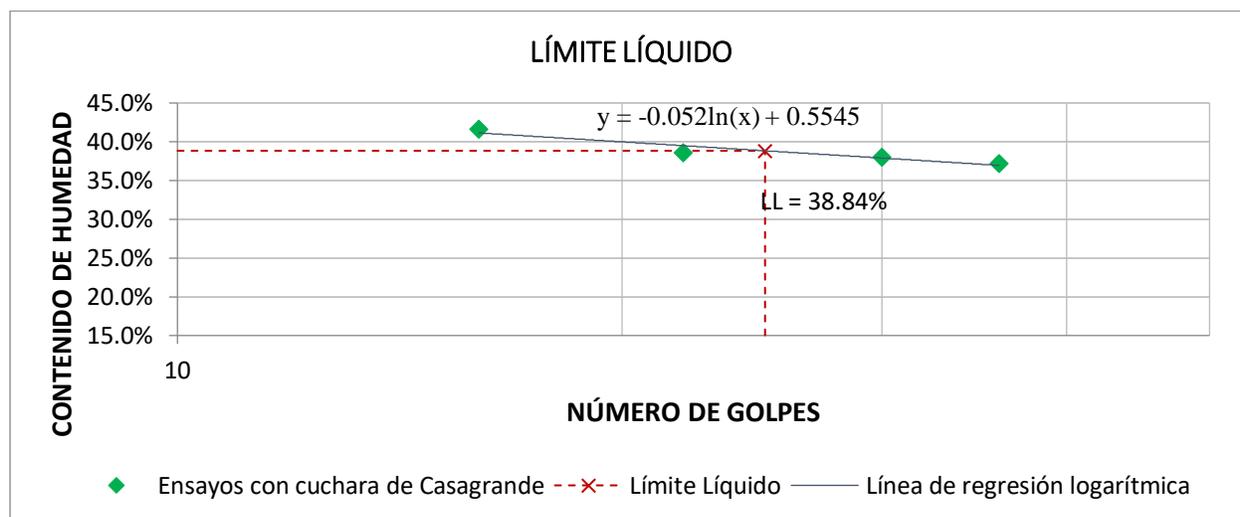
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>36</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>16</b>
Peso de Capsula (g)	54.30	57.45	58.25	58.51
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	57.47	60.21	61.59	62.42
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	56.61	59.45	60.66	61.27
Peso del Agua (g)	0.86	0.76	0.93	1.15
Peso de la Muestra Seca (g)	2.31	2.00	2.41	2.76
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>37.23%</b>	<b>38.00%</b>	<b>38.59%</b>	<b>41.67%</b>

*Nota.* Se detallan los valores necesarios para la determinación del límite líquido de cada muestra.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 13**

*Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo*



*Nota.* El gráfico muestra el valor determinado del límite líquido para un número de 25 golpes.

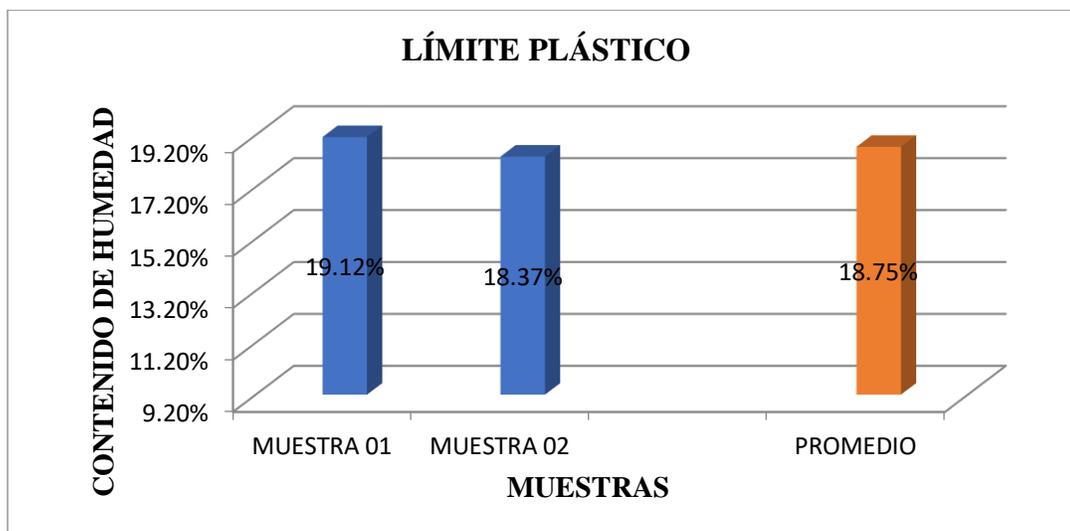
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 40***Cálculo del límite plástico de la arcilla de Izcuchaca*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	22.33	21.94
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	28.31	27.61
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	27.35	26.73
Peso del Agua (g)	0.96	0.88
Peso de la Muestra Seca (g)	5.02	4.79
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>19.12%</b>	<b>18.37%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite plástico.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 14***Valor promedio del límite plástico de Izcuchaca*

*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras.

Fuente: Elaboración propia.

### ***Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Ocongate***

Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de Ocongate es de LL= 36.24 % y su límite plástico es de 19.45%.

**Tabla 41**

*Cálculo del límite líquido de la arcilla de Ocongate*

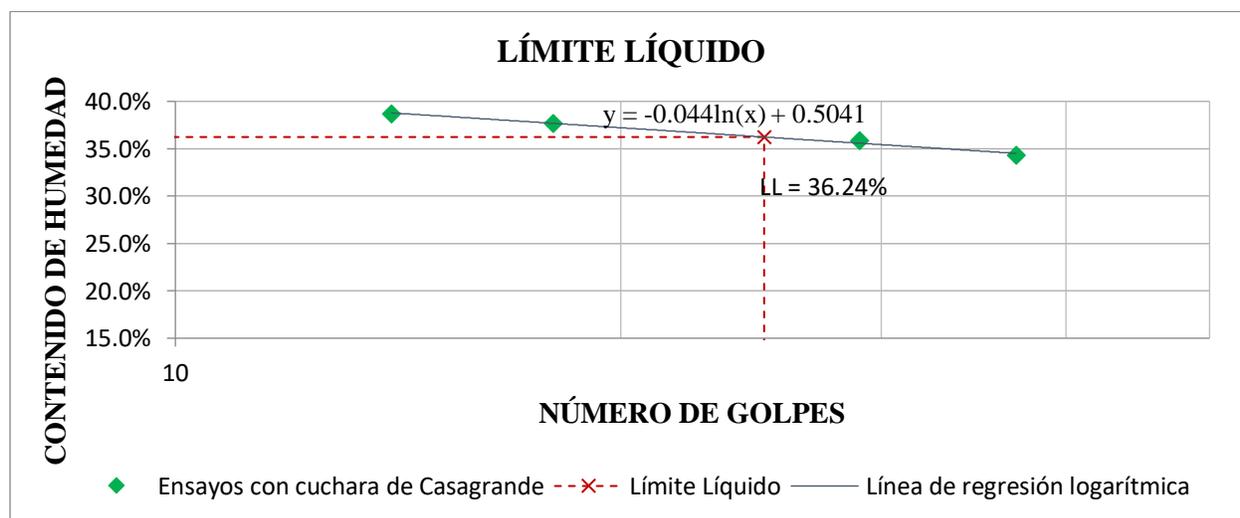
DESCRIPCIÓN	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03	04
<b>Número de Golpes</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>14</b>
Peso de Capsula (g)	57.32	58.47	59.61	57.86
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	61.98	63.28	64.47	61.98
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	60.79	62.01	63.14	60.83
Peso del Agua (g)	1.19	1.27	1.33	1.15
Peso de la Muestra Seca (g)	3.47	3.54	3.53	2.97
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>34.29%</b>	<b>35.88%</b>	<b>37.68%</b>	<b>38.72%</b>

*Nota.* Se detallan los valores necesarios para la determinación del límite líquido de cada muestra.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 15**

*Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo*



*Nota.* El gráfico muestra el valor determinado del límite líquido para un número de 25 golpes.

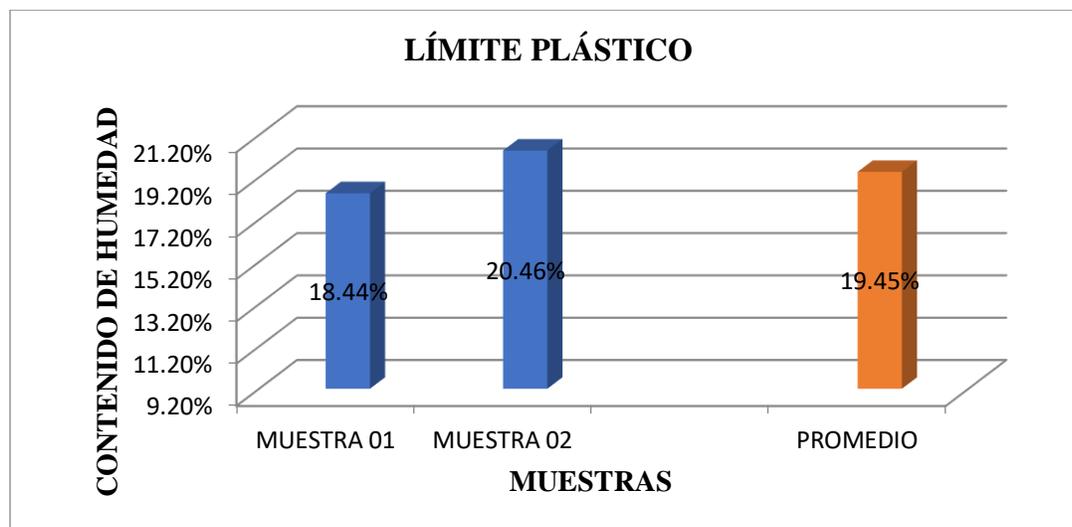
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42***Cálculo del límite plástico de la arcilla de Ocongate*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	51.76	58.77
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	57.09	64.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	56.26	63.51
Peso del Agua (g)	0.83	0.97
Peso de la Muestra Seca (g)	4.50	4.74
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>18.44%</b>	<b>20.46%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite plástico.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 16***Valor promedio del límite plástico de Ocongate*

*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras.

Fuente: Elaboración propia.

### **Límite Líquido y Límite Plástico de la Arcilla de Lamay**

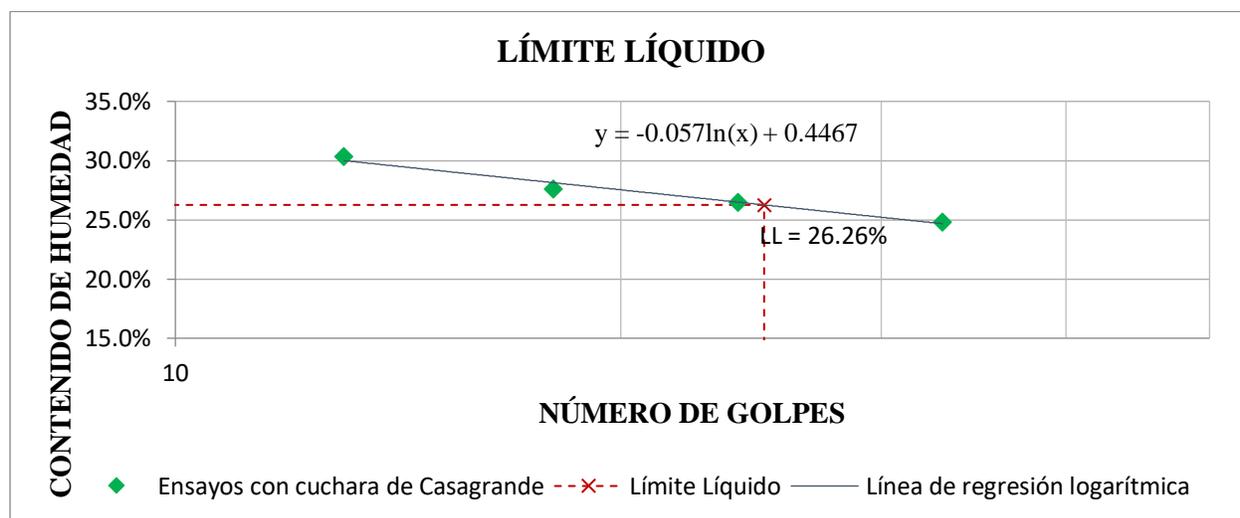
Se determinó que el límite líquido para la muestra de arcilla de la cantera de Lamay es de LL= 36.24 % y su límite plástico es de 19.45%.

**Tabla 43***Cálculo del límite líquido de la arcilla de Lamay*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03	04
<b>Número de Golpes</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>13</b>
Peso de Capsula (g)	54.29	58.52	57.49	58.27
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	60.17	63.39	62.34	63.90
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	59.00	62.37	61.29	62.59
Peso del Agua (g)	1.17	1.02	1.05	1.31
Peso de la Muestra Seca (g)	4.71	3.85	3.80	4.32
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>24.84%</b>	<b>26.49%</b>	<b>27.63%</b>	<b>30.32%</b>

*Nota.* Se detallan los valores necesarios para la determinación del límite líquido de cada muestra.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 17***Línea de regresión logarítmica a partir del número de golpes del ensayo*

*Nota.* El gráfico muestra el valor determinado del límite líquido para un número de 25 golpes.

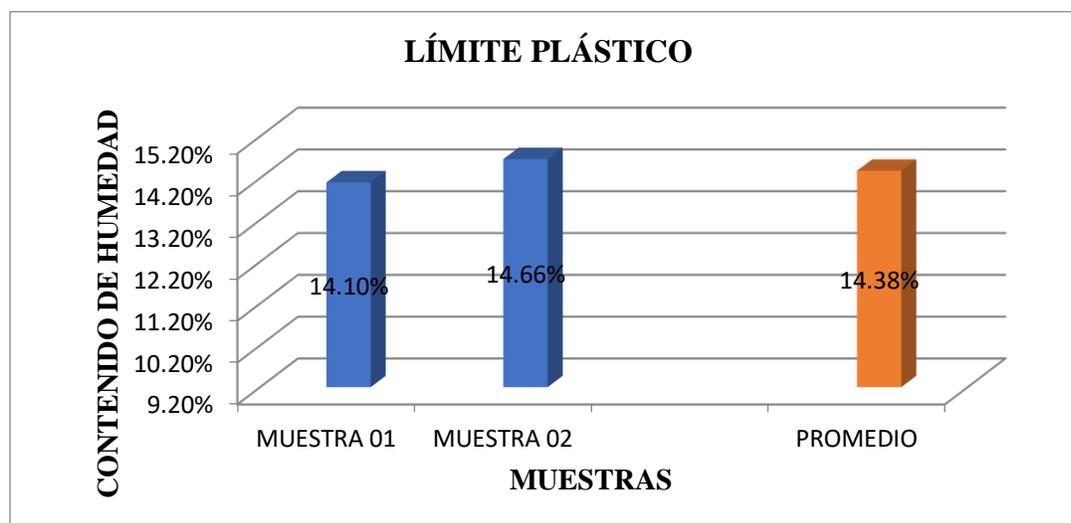
Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 44***Cálculo del límite plástico de la arcilla de Lamay*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (g)	22.32	21.92
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	28.39	28.57
Peso de Capsula + Muestra Seca (g)	27.64	27.72
Peso del Agua (g)	0.75	0.85
Peso de la Muestra Seca (g)	5.32	5.80
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>14.10%</b>	<b>14.66%</b>

*Nota.* Se muestran los parámetros necesarios para el cálculo del límite plástico.

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 18***Valor promedio del límite plástico de Lamay*

*Nota.* Se muestra el valor promedio del límite plástico de dos muestras. Fuente: Elaboración propia.

### **Clasificación de suelos**

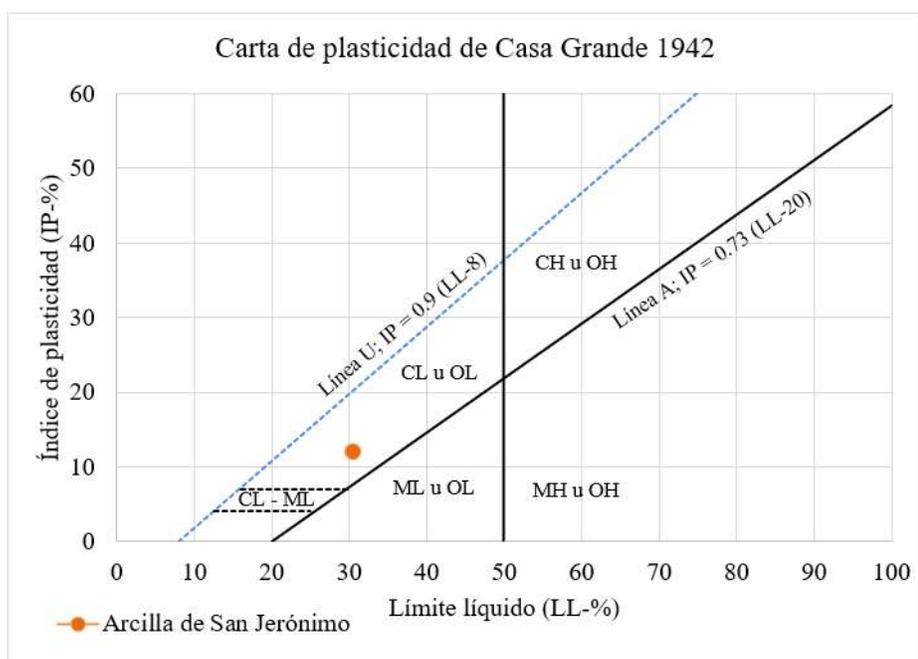
Se realizó el análisis granulométrico para muestras de cada cantera de arcilla considerada, de los cuales se presenta su clasificación en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Dado que todas las muestras tienen un porcentaje de finos mayor al 50%, corresponden

a suelos con grano fino, entonces la clasificación se realiza utilizando la carta de plasticidad de Casagrande. Obteniendo la siguiente clasificación.

La arcilla de San Jerónimo posee un límite líquido de 30.61% y un índice de plasticidad de 11.87%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de baja plasticidad (CL).

### Gráfica 19

*Caracterización de la arcilla de San Jerónimo en la carta de plasticidad*



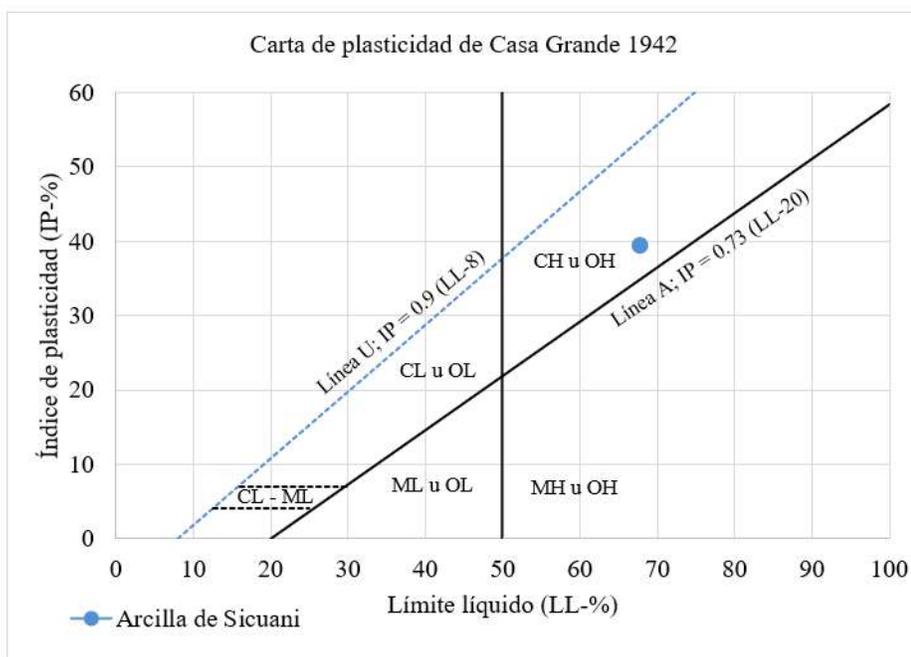
*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CL (arcilla de baja plasticidad).

Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de Sicuani posee un límite líquido de 67.95% y un índice de plasticidad de 39.29%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de alta plasticidad (CH)

### Gráfica 20

*Caracterización de la arcilla de Sicuani en la carta de plasticidad*



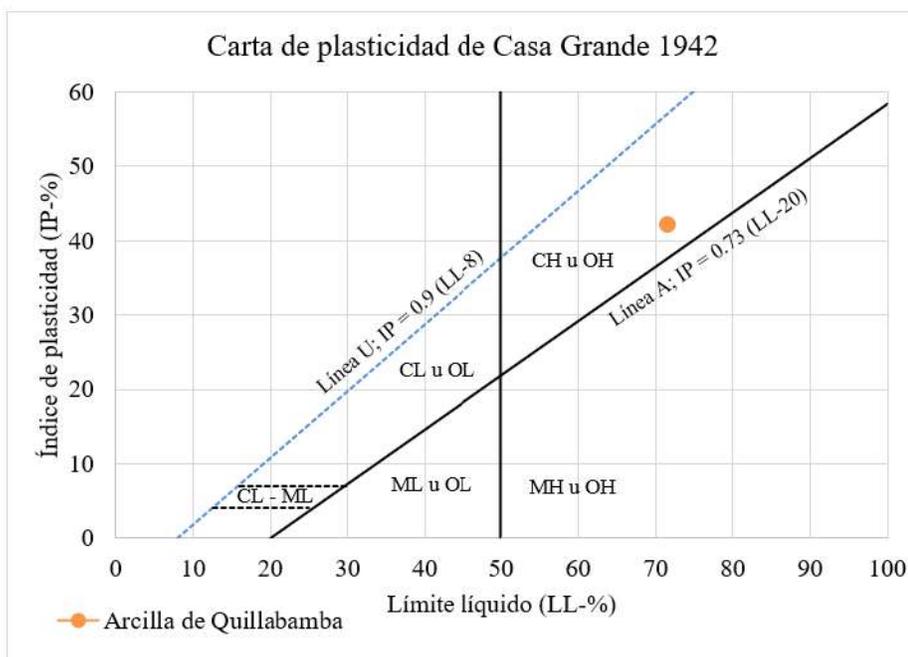
*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CH (arcilla de alta plasticidad).

Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de Huayanay posee un límite líquido de 71.66% y un índice de plasticidad de 41.94%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de alta plasticidad (CL).

### Gráfica 21

*Caracterización de la arcilla de Huayanay en la carta de plasticidad*



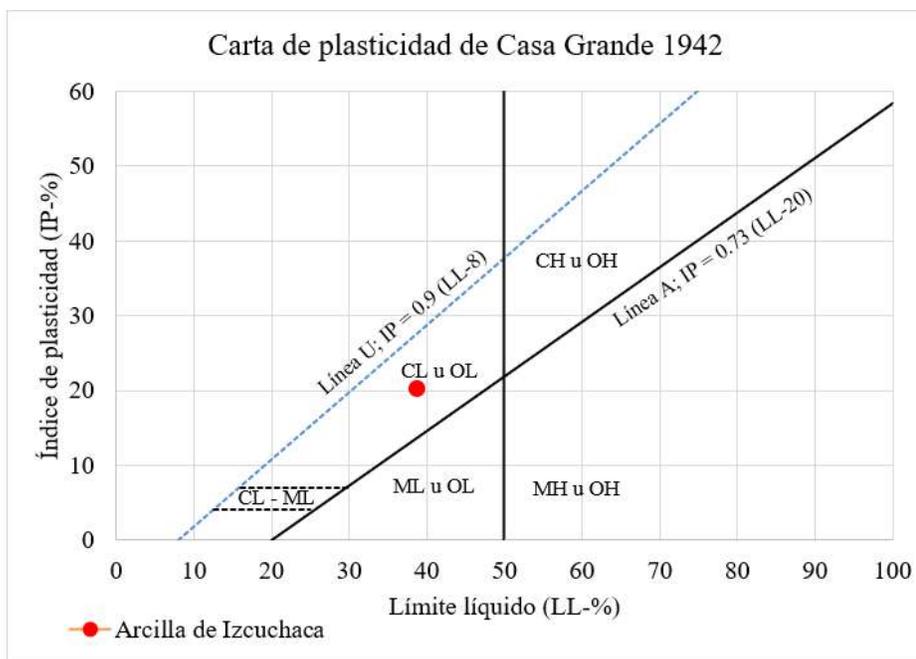
*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CH (arcilla de alta plasticidad).

Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de Izcuchaca posee un límite líquido de 38.84% y un índice de plasticidad de 20.09%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de baja plasticidad (CL)

### Gráfica 22

*Caracterización de la arcilla de Izcuchaca en la carta de plasticidad*

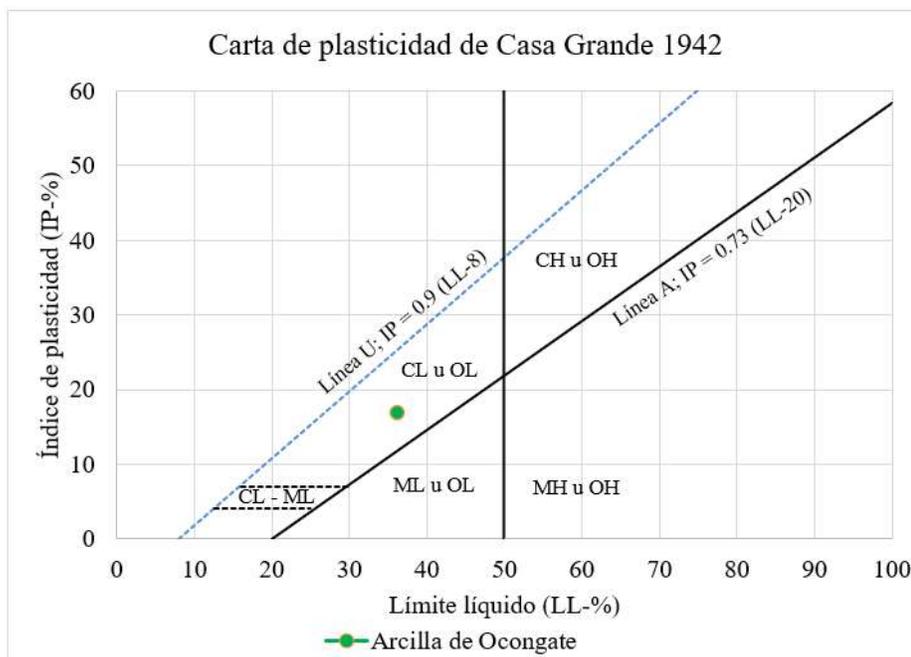


*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CL (arcilla de baja o media plasticidad). Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de Ocongate posee un límite líquido de 36.24% y un índice de plasticidad de 16.78%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de baja plasticidad (CL).

### Gráfica 23

*Caracterización de la arcilla de Ocongate en la carta de plasticidad*



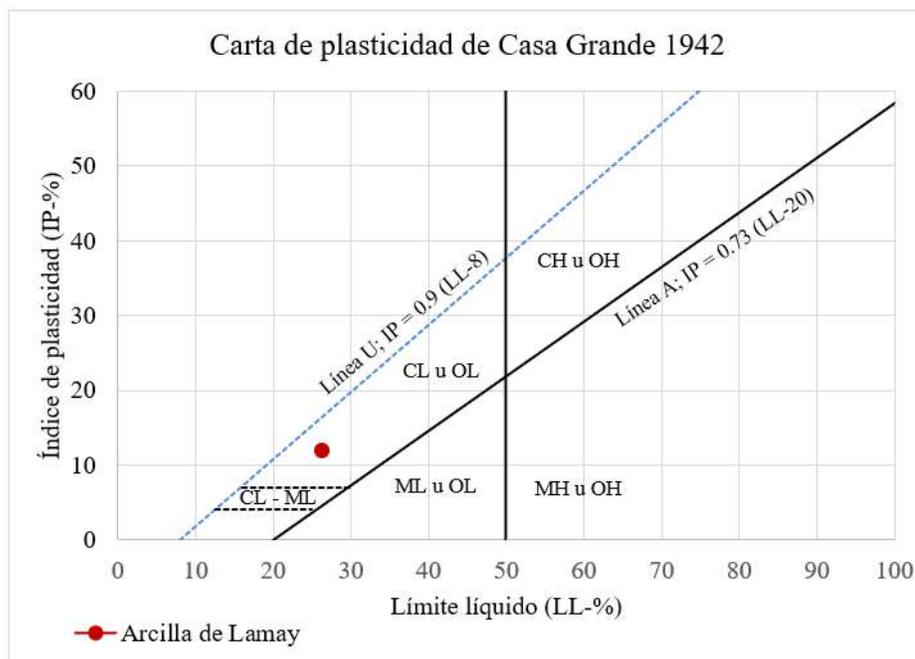
*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CL (arcilla de baja plasticidad).

Fuente: Elaboración propia.

La arcilla de Lamay posee un límite líquido de 26.26% y un índice de plasticidad de 11.88%, al ubicarse en la carta de plasticidad se clasifica como una arcilla de baja plasticidad (CL).

### Gráfica 24

*Caracterización de la arcilla de Lamay en la carta de plasticidad*



*Nota.* Se observa que la muestra se encuentra en la clasificación CL (arcilla de baja plasticidad).

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados del Ensayo Químico de las Arcillas

Teniendo en cuenta que los principales componentes que se deben considerar son el  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$ . La composición química muestra que la arcilla de Ocongata contiene el mayor porcentaje de  $SiO_2$  con un 60.531%, mientras que la arcilla de San Jerónimo contiene el menor porcentaje con un 41.61%. Por otro lado, la arcilla de Lamay posee el mayor porcentaje de  $Fe_2O_3$  en un 9.762% y el menor porcentaje lo posee la arcilla de Checacupe con un 3.843%.

Finalmente, la arcilla de Huayanay contiene el mayor porcentaje de  $Al_2O_3$  con un 27.668% y la arcilla de Checacupe contiene el menor porcentaje con un 10.999%.

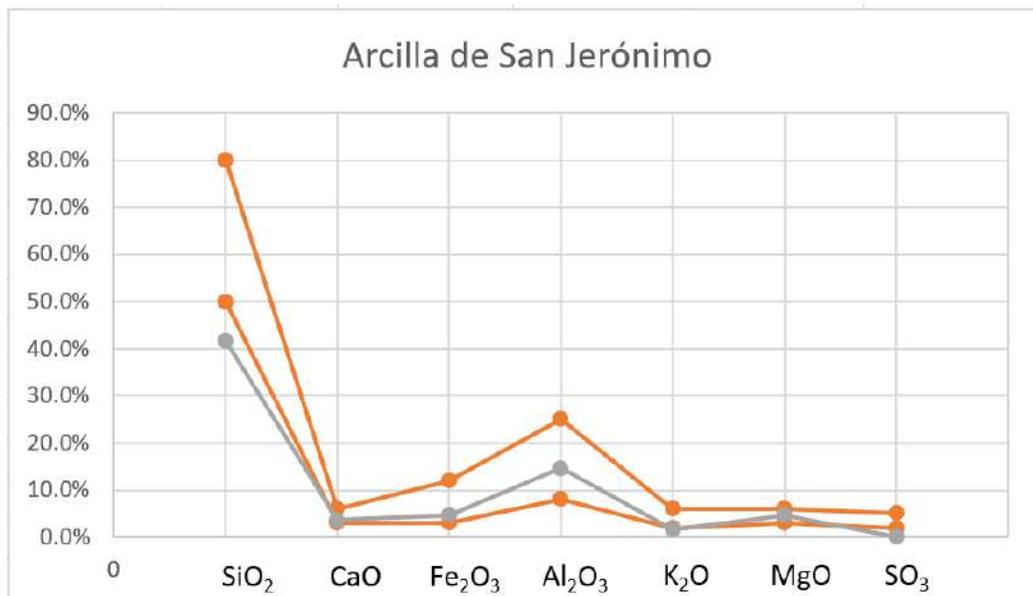
**Tabla 45**

*Composición química principal de los tipos de arcilla estudiadas*

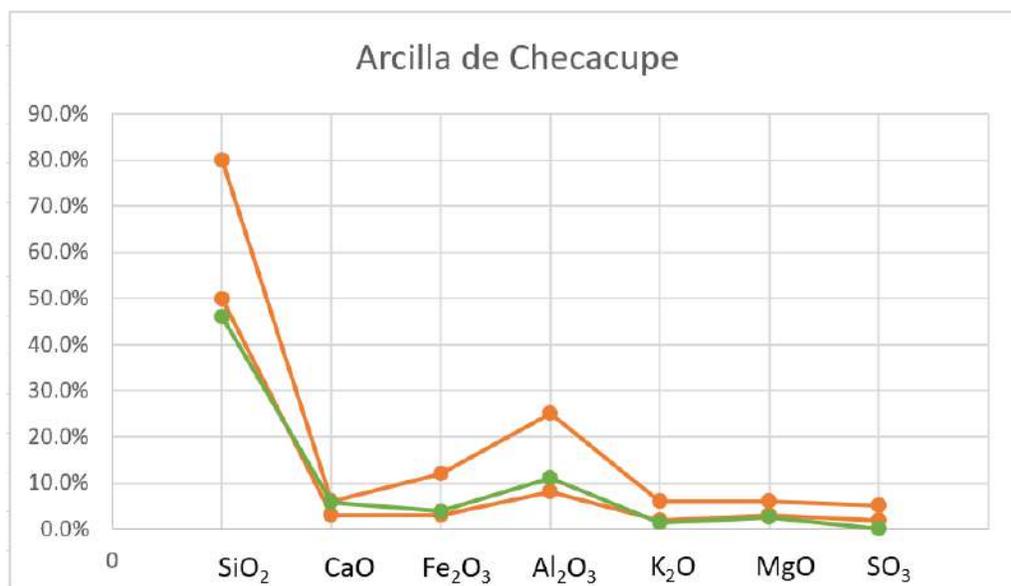
Compuesto	Ocongate	Huayanay	Sicuani	San Jerónimo	Checacupe	Lamay	Izcuchaca
SiO <sub>2</sub>	60.531%	46.276%	47.710%	41.610%	46.062%	43.001%	47.218%
CaO	0.000%	0.000%	0.3374%	3.591%	6%	10.424%	0.000%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.255%	8.695%	5.944%	4.714%	3.843%	9.762%	9.758%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.619%	27.668%	25.929%	14.628%	10.999%	17.765%	26.049%
TiO <sub>2</sub>	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
K <sub>2</sub> O	1.235%	2.303%	2.833%	1.661%	1.371%	3.947%	3.091%
MgO	0.547%	0.862%	2.188%	4.626%	2.553%	8.883%	1.134%
SO <sub>3</sub>	0.196%	0.166%	0.385%	0.100%	0.133%	0.117%	0.074%

*Nota.* Los compuestos que se consideran son los principales indicadores del potencial de expansión térmica de las muestras de arcilla. Fuente: Elaboración propia

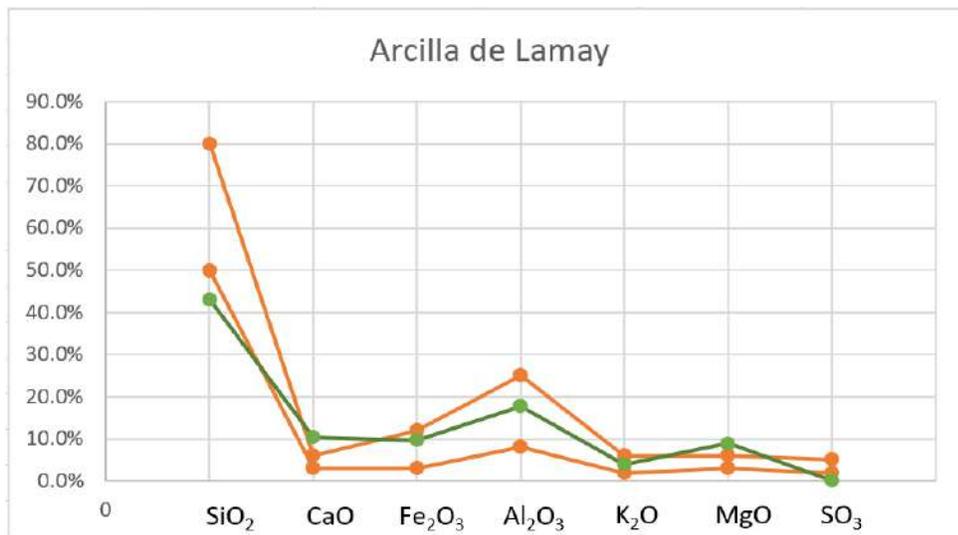
Como se mencionó en el marco teórico, existen autores que, basados en la experiencia, indican que, si la composición química de la arcilla se encuentra dentro de sus límites propuestos, tienen posibilidades de expandir; mientras que, si se encuentran fuera, no tienen posibilidades de expandir. En esta investigación, se consideraron los límites propuestos por W. Kalb & E. Wilhelm, es así que tenemos las siguientes gráficas para cada arcilla estudiada.

**Gráfica 25***Composición química de la arcilla de San Jerónimo*

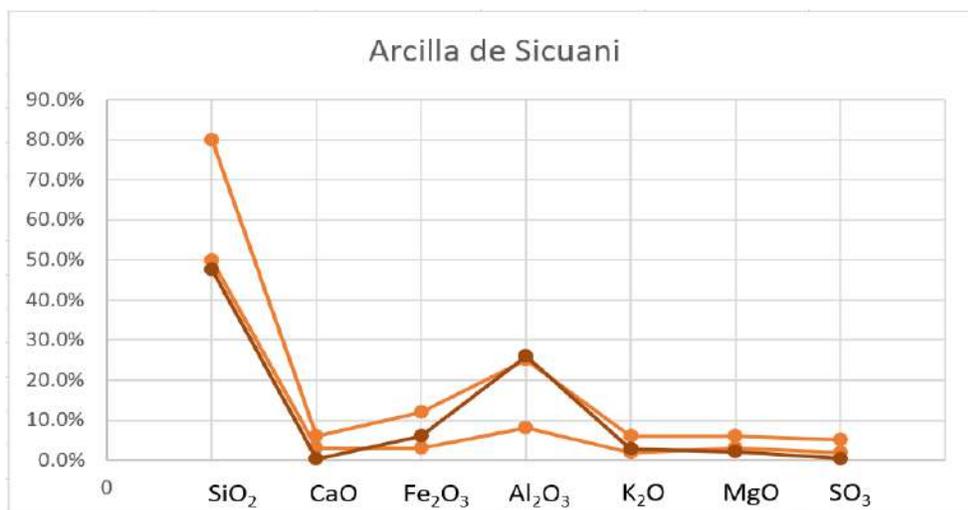
*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub> y de SO<sub>3</sub>. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 26***Composición química de la arcilla de Checacupe*

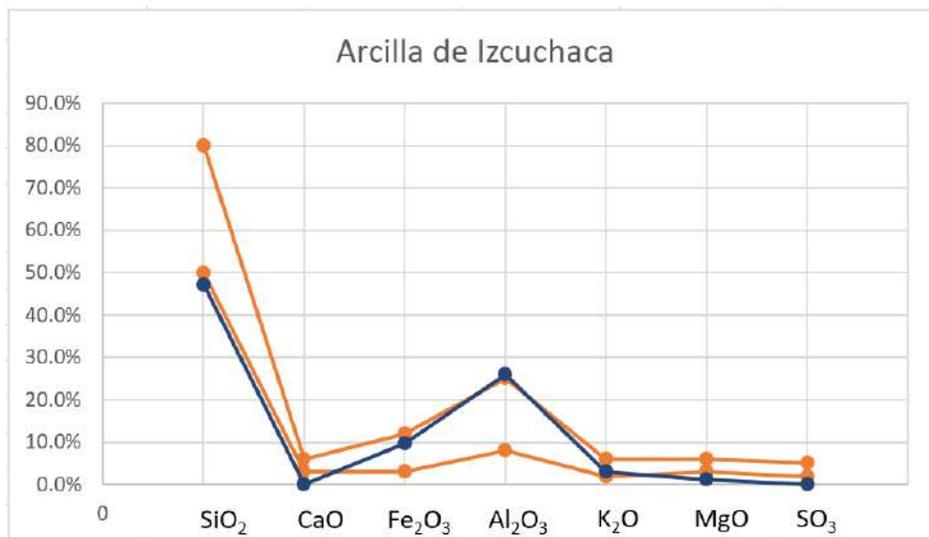
*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub> y de SO<sub>3</sub>. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 27***Composición química de la arcilla de Lamay*

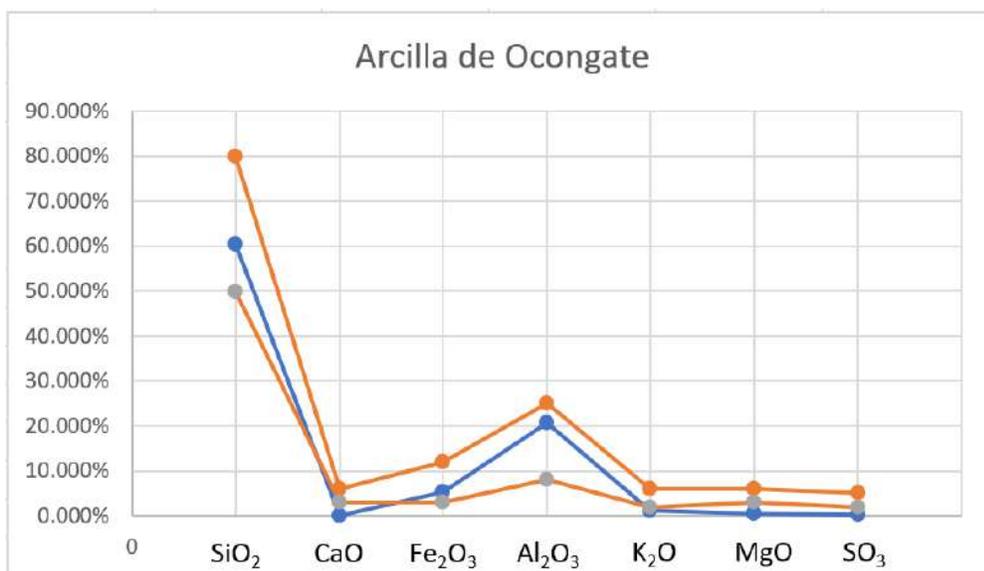
*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub> y de SO<sub>3</sub>, excediendo su cantidad de CaO y - MgO, la cantidad de CaO que posee excede el 10%, lo que la hace una arcilla no favorable para fabricación de ladrillos. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 28***Composición química de la arcilla de Sicuani*

*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub>, CaO y de SO<sub>3</sub>, excediendo ligeramente su cantidad de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, posee un bajo porcentaje de CaO (0.34%), lo que la hace favorable para uso en construcción. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 29***Composición química de la arcilla de Izcuchaca*

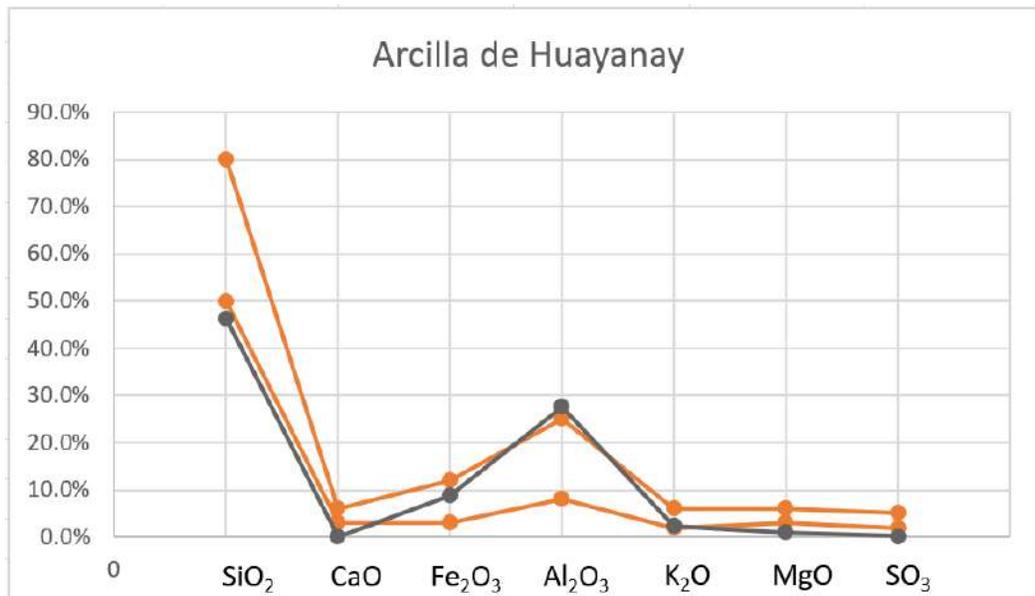
*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub>, MgO y de SO<sub>3</sub>, excediendo ligeramente su cantidad de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, posee 0% de CaO. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 30***Composición química de la arcilla de Ocongate*

*Nota.* No posee la cantidad suficiente de MgO y de SO<sub>3</sub>, posee 0% de CaO y es la única arcilla que cumple el límite de SiO<sub>2</sub>. Fuente: Elaboración propia.

### Gráfica 31

*Composición química de la arcilla de Huayanay*



*Nota.* No posee la cantidad suficiente de SiO<sub>2</sub>, MgO y de SO<sub>3</sub>, excediendo ligeramente su cantidad de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y posee 0% de CaO. Fuente: Elaboración propia.

Ninguna de las arcillas se encuentra dentro de los límites propuestos por W. Kalb & E. Wilhelm y ninguna posee una composición química muy lejana, por estas razones, se sometieron a todas las arcillas a pruebas de expansión térmica en temperaturas altas.

### Resultados del ensayo de expansión térmica a altas temperaturas

Se ensayaron 20 esferas de cada arcilla para cada temperatura de calcinación, se obtuvo el volumen de cada esfera a partir del promedio de cinco diámetros medidos con calibrador vernier (Ver Apéndice B), en el siguiente cuadro se muestra el resumen de todas estas lecturas.

**Tabla 46***Expansión térmica de arcillas a altas temperaturas – Primera parte*

Arcilla	Temperatura	Antes de la calcinación				Después de la calcinación				
		Masa	Diámetro Promedio	Volumen Promedio	Densidad Promedio	Masa	Diámetro Promedio	Volumen Promedio	Densidad Promedio	Cambio de volumen
San Jerónimo	1131°C	3.116	1.499	1.764	1.767	3.095	1.498	1.761	1.757	-0.13%
	1148°C	3.117	1.499	1.764	1.766	3.094	1.499	1.763	1.755	-0.08%
	1178°C	3.118	1.500	1.767	1.764	3.084	1.499	1.765	1.747	-0.10%
	1196°C	3.117	1.500	1.766	1.765	3.060	1.470	1.662	1.841	-5.88%
	1221°C	FUSIÓN								
Checacupe	1148°C	3.144	1.500	1.766	1.780	3.121	1.499	1.764	1.769	-0.13%
	1178°C	3.149	1.500	1.769	1.780	3.122	1.500	1.767	1.767	-0.08%
	1196°C	3.142	1.500	1.766	1.779	3.103	1.499	1.764	1.758	-0.07%
	1221°C	3.140	1.499	1.763	1.780	3.108	1.441	1.568	1.982	-11.07%
	1255°C	3.134	1.499	1.765	1.775	3.096	1.409	1.465	2.113	-17.00%
Lamay	1148°C	3.473	1.500	1.767	1.965	3.462	1.499	1.765	1.961	-0.11%
	1178°C	3.473	1.499	1.764	1.968	3.436	1.482	1.703	2.017	-3.44%
	1196°C	3.469	1.500	1.767	1.963	3.443	1.430	1.532	2.247	-13.33%
	1221°C	3.465	1.500	1.766	1.963	3.435	1.422	1.504	2.283	-14.80%
	1255°C	3.469	1.500	1.767	1.963	3.430	1.408	1.461	2.348	-17.34%

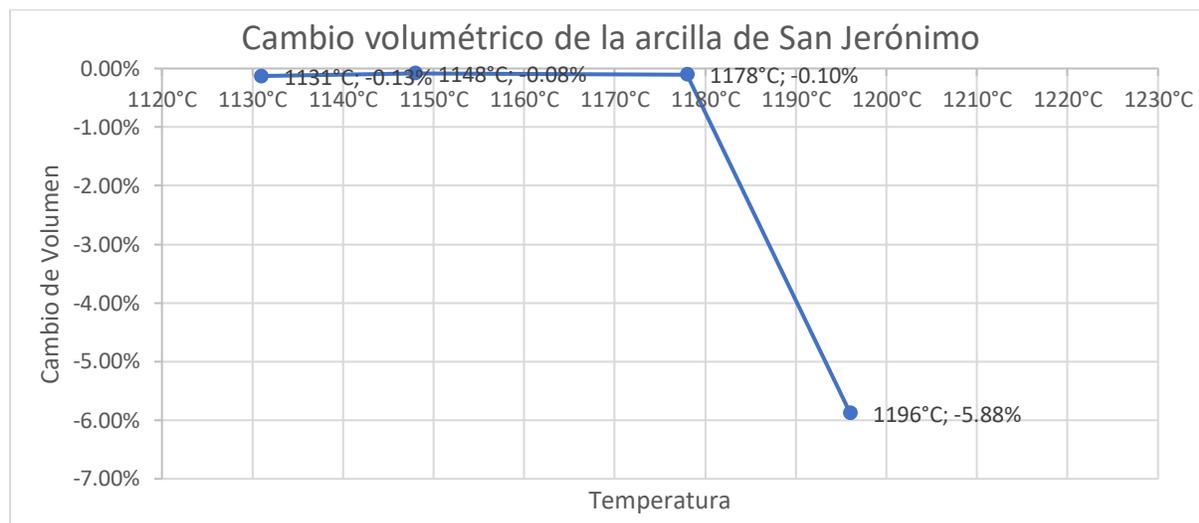
*Expansión térmica de arcillas a altas temperaturas – Segunda parte*

Izcuchaca	1148°C	3.218	1.500	1.769	1.820	3.186	1.422	1.506	2.115	-14.82%
	1178°C	3.216	1.500	1.768	1.819	3.186	1.416	1.487	2.142	-15.86%
	1196°C	3.218	1.500	1.767	1.821	3.190	1.413	1.478	2.158	-16.33%
	1221°C	3.219	1.500	1.767	1.822	3.185	1.410	1.468	2.170	-16.95%
	1255°C	3.219	1.500	1.767	1.821	3.191	1.408	1.461	2.184	-17.34%
Sicuani	1148°C	3.223	1.500	1.768	1.823	3.211	1.481	1.700	1.889	-3.84%
	1178°C	3.221	1.500	1.768	1.822	3.211	1.551	1.952	1.645	10.44%
	1196°C	3.222	1.500	1.767	1.824	3.211	1.669	2.433	1.320	37.71%
	1221°C	3.219	1.500	1.766	1.823	3.199	1.767	2.890	1.107	63.68%
	1255°C	3.223	1.500	1.767	1.824	3.211	1.884	3.499	0.918	97.99%
Huayanay	1148°C	2.791	1.500	1.766	1.580	2.760	1.299	1.148	2.404	-34.99%
	1178°C	2.794	1.500	1.768	1.580	2.766	1.296	1.141	2.424	-35.49%
	1196°C	2.793	1.500	1.766	1.581	2.767	1.291	1.127	2.455	-36.17%
	1221°C	2.788	1.500	1.767	1.578	2.756	1.286	1.114	2.475	-36.97%
	1255°C	2.787	1.500	1.767	1.577	2.770	1.294	1.134	2.443	-35.84%
Ocongate	1148°C	3.079	1.500	1.768	1.742	3.056	1.455	1.613	1.894	-8.74%
	1178°C	3.082	1.500	1.767	1.744	3.054	1.449	1.594	1.916	-9.78%
	1196°C	3.081	1.500	1.767	1.744	3.055	1.445	1.581	1.933	-10.54%
	1221°C	3.082	1.500	1.767	1.744	3.049	1.439	1.561	1.954	-11.68%
	1255°C	3.082	1.500	1.767	1.744	3.057	1.421	1.503	2.035	-14.96%

*Nota.* La muestra de la arcilla de Sicuani es la única que muestra un incremento significativo en su volumen; sin embargo, la arcilla de Huayanay muestra un ligero crecimiento en la temperatura de 1255°C, respecto a las anteriores temperaturas. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 32**

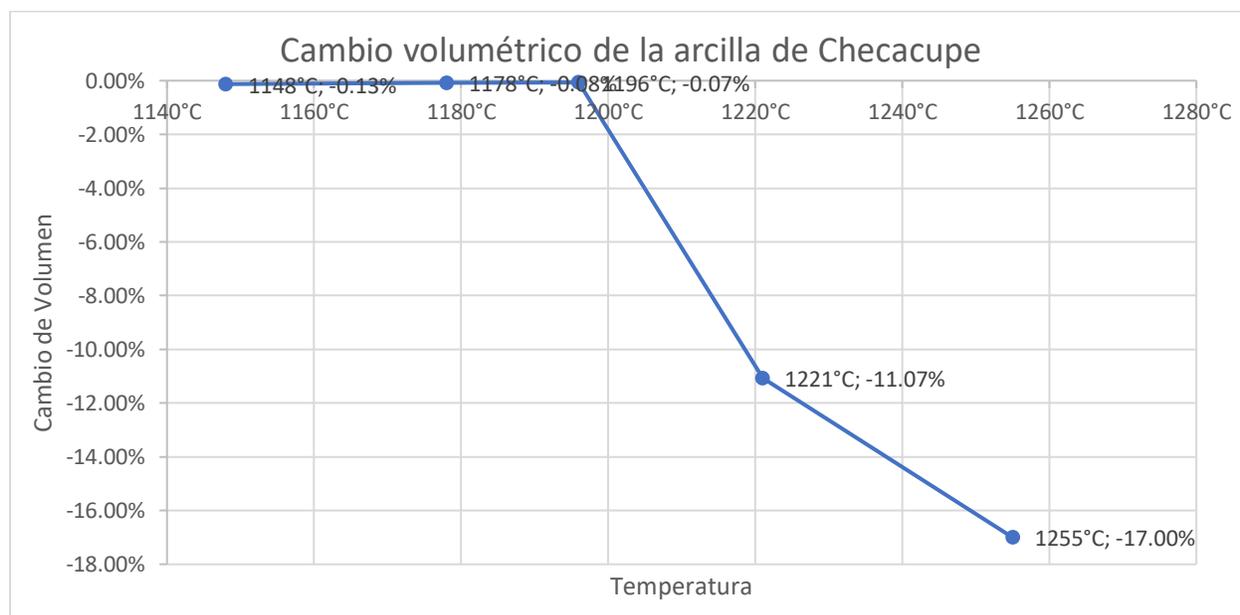
*Cambio volumétrico de la arcilla de San Jerónimo en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de San Jerónimo no son significativos hasta la temperatura de 1196°C. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 33**

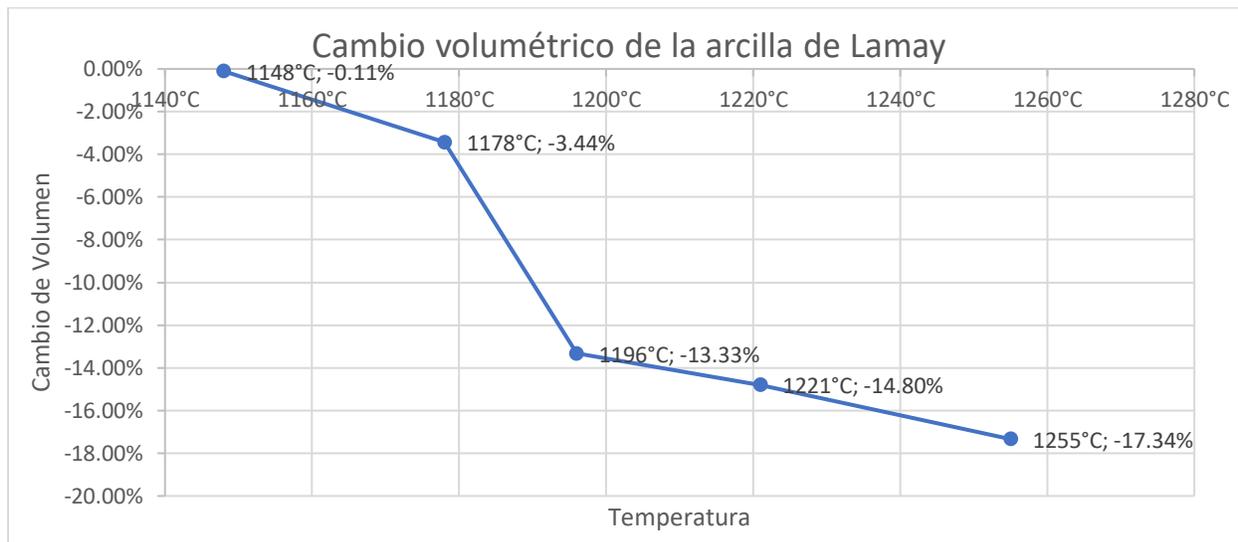
*Cambio volumétrico de la arcilla de Checacupe en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Checacupe no son significativos hasta la temperatura de 1221°C. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 34**

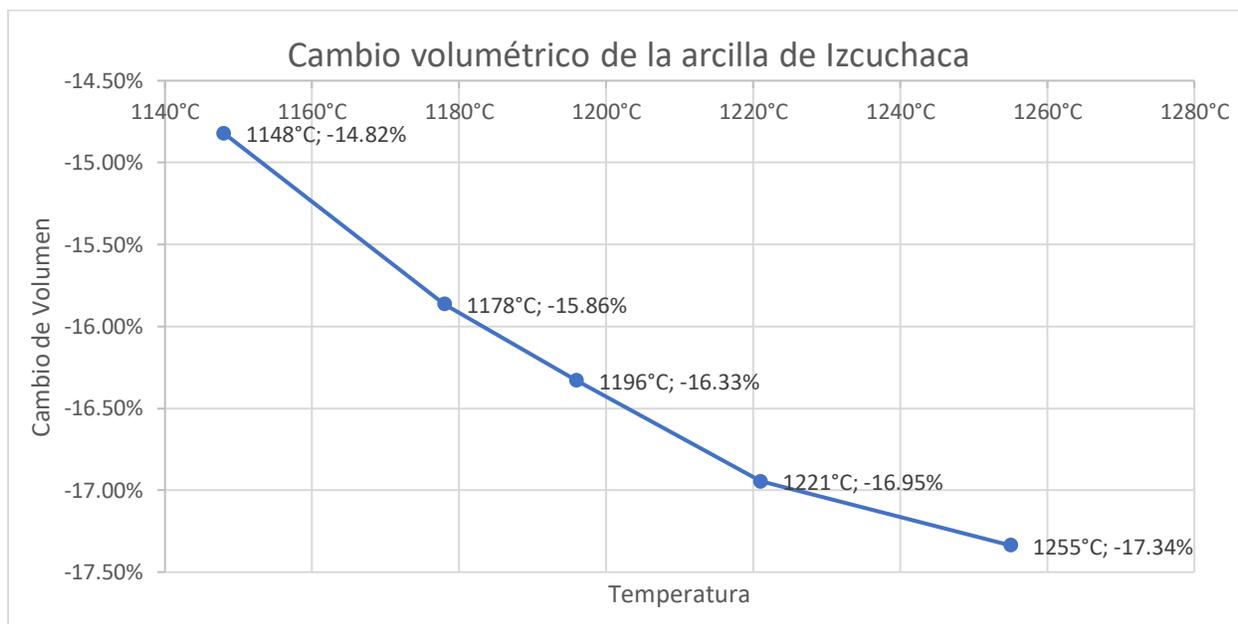
*Cambio volumétrico de la arcilla de Lamay en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Lamay presentan comportamiento no lineal. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 35**

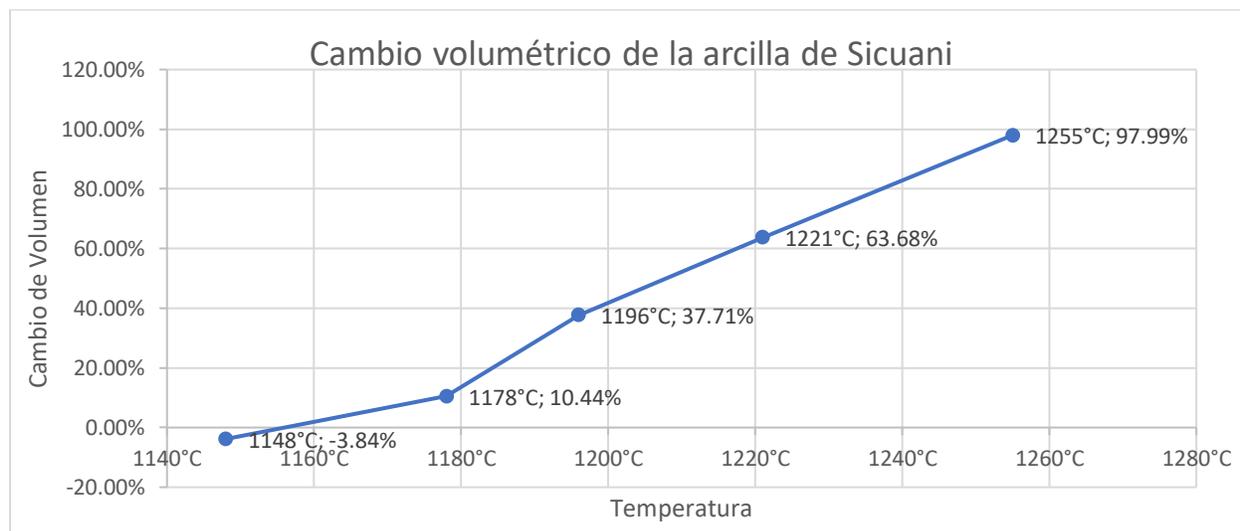
*Cambio volumétrico de la arcilla de Izcuchaca en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Lamay presentan comportamiento no lineal. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 36**

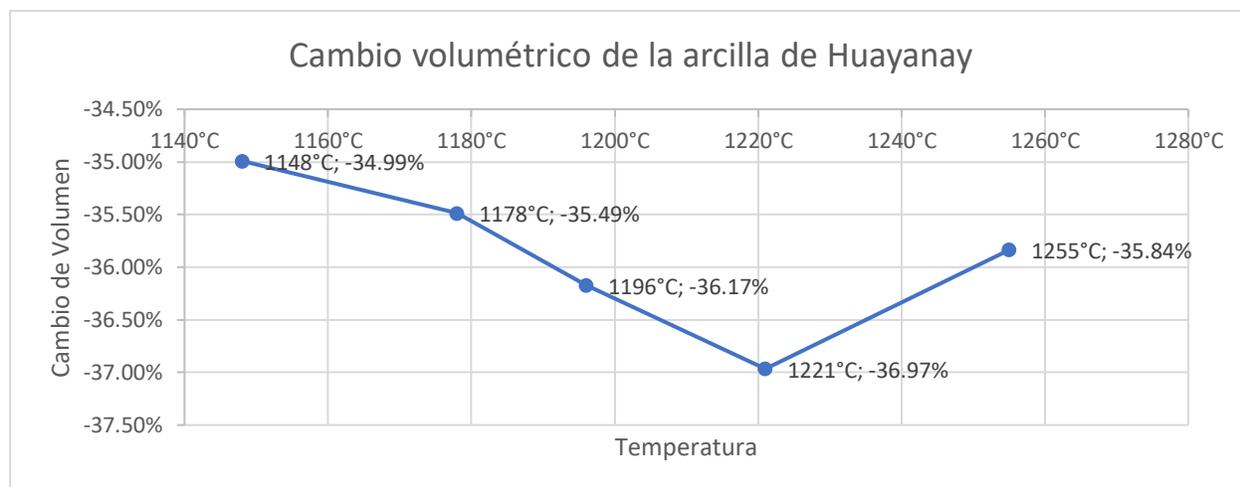
*Cambio volumétrico de la arcilla de Sicuani en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Sicuani poseen un comportamiento casi lineal. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 37**

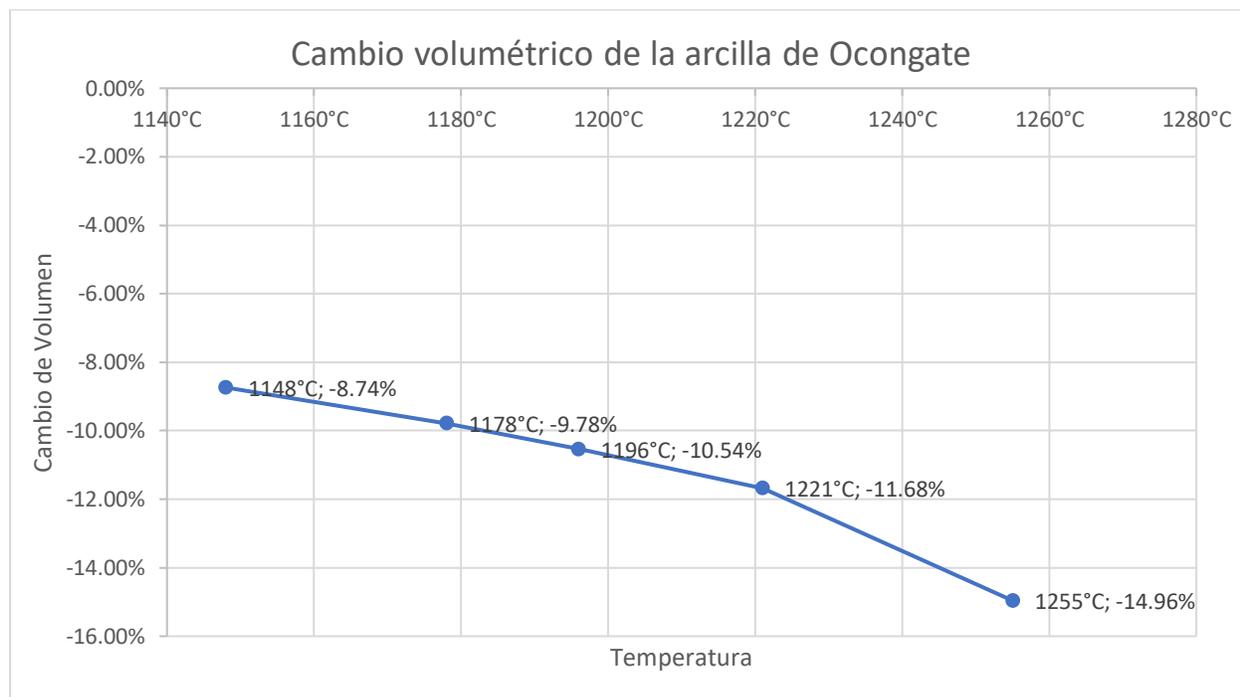
*Cambio volumétrico de la arcilla de Huayanay en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Huayanay tienen un punto de inflexión en la temperatura de 1221°C. Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 38**

*Cambio volumétrico de la arcilla de Ocongate en función de la temperatura de calcinación*



*Nota.* Se puede observar que los cambios volumétricos de la arcilla de Ocongate poseen un comportamiento casi lineal. Fuente: Elaboración propia.

**Resultados de la Caracterización de los Agregados*****Cantidad de material fino que pasa el Tamiz N°200 (MTC E 200)*****Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 del Agregado Fino**

La cantidad de material que logra pasar el tamiz N° 200 es de 13.02 g, a partir de un total de 486.81 g de muestra, resultando un porcentaje de 2.67%. Se muestran los datos a partir de los cuales se obtuvo este resultado.

**Tabla 47***Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-agregado fino*

Tamaño máximo nominal del agregado: Menor a N°4	
Peso mínimo de la muestra: 300 g	
<b>N° ensayo</b>	<b>01</b>
Peso del recipiente (g)	109.93
Peso del recipiente + muestra seca antes del lavado (g)	596.74
Peso de la muestra seca antes del lavado (g)	486.81
Peso del recipiente + muestra seca después del lavado (g)	583.72
Peso de la muestra seca después del lavado (g)	473.79
Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200	13.02
Porcentaje del material que pasa el tamiz N° 200	2.67%

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a los lineamientos de la norma MTC E 202.

Fuente: Elaboración propia

#### **Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 de la Piedra Chancada**

La cantidad de material que logra pasar el tamiz N° 200 es de 34.53 g, a partir de un total de 3227.09 g de muestra, resultando un porcentaje de 1.07%. Se muestran los datos a partir de los cuales se obtuvo este resultado.

**Tabla 48***Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-agregado grueso de piedra chancada*

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4"	
Peso mínimo de la muestra: 2500 g	
<b>N° ensayo</b>	<b>01</b>
Peso del recipiente (g)	813.02
Peso del recipiente + muestra seca antes del lavado (g)	4040.11
Peso de la muestra seca antes del lavado (g)	3227.09
Peso del recipiente + muestra seca después del lavado (g)	4005.58
Peso de la muestra seca después del lavado (g)	3192.56
Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200	34.53
Porcentaje del material que pasa el tamiz N° 200	1.07%

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 202. Fuente: Elaboración propia.

**Cantidad de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 de la Arcilla Térmicamente  
expandida**

La cantidad de material que logra pasar el tamiz N° 200 es de 1.35 g, a partir de un total de 1633.66 g de muestra, resultando un porcentaje de 0.08%.

**Tabla 49**

*Cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200-arcilla térmicamente expandida*

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4"	
Peso mínimo de la muestra: 2500 g	
N° ensayo	01
Peso del recipiente (g)	551.73
Peso del recipiente + muestra seca antes del lavado (g)	2185.39
Peso de la muestra seca antes del lavado (g)	1633.66
Peso del recipiente + muestra seca después del lavado (g)	2184.04
Peso de la muestra seca después del lavado (g)	1632.31
Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200	1.35
Porcentaje del material que pasa el tamiz N° 200	0.08%

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a los lineamientos de la norma MTC E 202.

Fuente. Elaboración propia.

***Peso Unitario y vacíos de los Agregados***

**Peso Unitario del Agregado Fino**

El peso unitario suelto promedio del agregado fino resultó 1.5363 g/cm<sup>3</sup> y realizando una conversión de unidades se obtuvo 1536.32 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 50***Peso unitario suelto del agregado fino*

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
Peso del molde (g)	4238.74	4238.74	4238.74
Peso del molde + muestra suelta (g)	5684.46	5686.51	5694.69
Peso de la muestra suelta (g)	1445.72	1447.77	1455.95
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	943.69	943.69	943.69
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1.532	1.534	1.543
<b>Promedio de peso unitario suelto (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.5363</b>	
<b>Promedio de peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1536.32</b>	

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 203.

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario compactado tuvo un resultado promedio de 1.6585 g/cm<sup>3</sup> que realizando una conversión de unidades se obtuvo 1658.54 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 51***Peso unitario compactado del agregado fino*

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
Número de capas	03	03	03
Número de golpes	25	25	25
Peso del molde (g)	4238.74	4238.74	4238.74
Peso del molde + muestra compactada (g)	5814.27	5812.03	5785.36
Peso de la muestra compactada (g)	1575.53	1573.29	1546.62
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	943.69	943.69	943.69
Peso Unitario compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1.670	1.667	1.639
<b>Promedio de peso unitario compactado (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.6585</b>	
<b>Promedio de peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1658.54</b>	

*Nota.* El procedió de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 203. Fuente: Elaboración propia.

### Peso Unitario de la Piedra Chancada

El peso unitario suelto promedio del agregado grueso de piedra chancada resultó 1.3141g/cm<sup>3</sup> y realizando una conversión de unidades se obtuvo 1314.08 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 52**

*Peso unitario suelto de la piedra chancada*

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
Peso del molde (g)	6400	6400	6400
Peso del molde + muestra suelta (g)	9200	9300	9200
Peso de la muestra suelta (g)	2800.00	2900.00	2800.00
Altura del molde (cm)	11.82	11.82	11.82
Diámetro del molde (cm)	15.24	15.24	15.24
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2156.14	2156.14	2156.14
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1.299	1.345	1.299
<b>Promedio de peso unitario suelto (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.3141</b>	
<b>Promedio de peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1314.08</b>	

*Nota.* Se procedió de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 203. Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario compactado de la piedra chancada de la cantera de vicho resultó un promedio de 1.5537 g/cm<sup>3</sup> que realizando una conversión de unidades se obtuvo 1553.70 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 53**

*Peso unitario compactado de la piedra chancada*

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de capas	03	03
Número de golpes	25	25
Peso del molde (g)	6400	6400
Peso del molde + muestra compactada (g)	9800	9700
Peso de la muestra compactada (g)	3400.00	3300.00
Altura del molde (cm)	11.82	11.82
Diámetro del molde (cm)	15.24	15.24
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2156.14	2156.14
Peso Unitario compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1.577	1.531
<b>Promedio de peso unitario compactado (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.5537</b>
<b>Promedio de peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1553.70</b>

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 203. Fuente: Elaboración propia.

### Peso Unitario de la Arcilla Térmicamente Expandida

El peso unitario suelto promedio del agregado grueso de piedra chancada resultó 0.5334g/cm<sup>3</sup> y realizando una conversión de unidades se obtuvo 533.36 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 54**

*Peso unitario suelto de la arcilla térmicamente expandida*

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Peso del molde (g)	6400	6400
Peso del molde + muestra suelta (g)	7500	7600
Peso de la muestra suelta (g)	1100.00	1200.00
Altura del molde (cm)	11.82	11.82
Diámetro del molde (cm)	15.24	15.24
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2156.14	2156.14
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> )	0.510	0.557
<b>Promedio de peso unitario suelto (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>0.5334</b>
<b>Promedio de peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>533.36</b>

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 203.

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario compactado de la piedra chancada de la cantera de vicho resultó un promedio de 1.6585 g/cm<sup>3</sup> que realizando una conversión de unidades se obtuvo 1658.54 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 55**

*Peso unitario compactado de la arcilla térmicamente expandida*

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Número de capas	03	03
Número de golpes	25	25
Peso del molde (g)	6400	6400
Peso del molde + muestra compactada (g)	7900	7900
Peso de la muestra compactada (g)	1500.00	1500.00
Altura del molde (cm)	11.82	11.82
Diámetro del molde (cm)	15.24	15.24
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2156.14	2156.14
Peso Unitario compactado (g/cm <sup>3</sup> )	0.696	0.696
<b>Promedio de peso unitario compactado (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>0.6957</b>
<b>Promedio de peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>695.69</b>

*Nota.* El ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E 203. Fuente: Elaboración propia.

### *Análisis Granulométrico*

#### **Análisis Granulométrico del Agregado Fino**

El análisis granulométrico realizado al agregado fino determinó un error porcentual entre el peso inicial y final de la muestra de 0.06%, se calculó un módulo de fineza de 2.95, y su gráfica correspondiente muestra que la curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos.

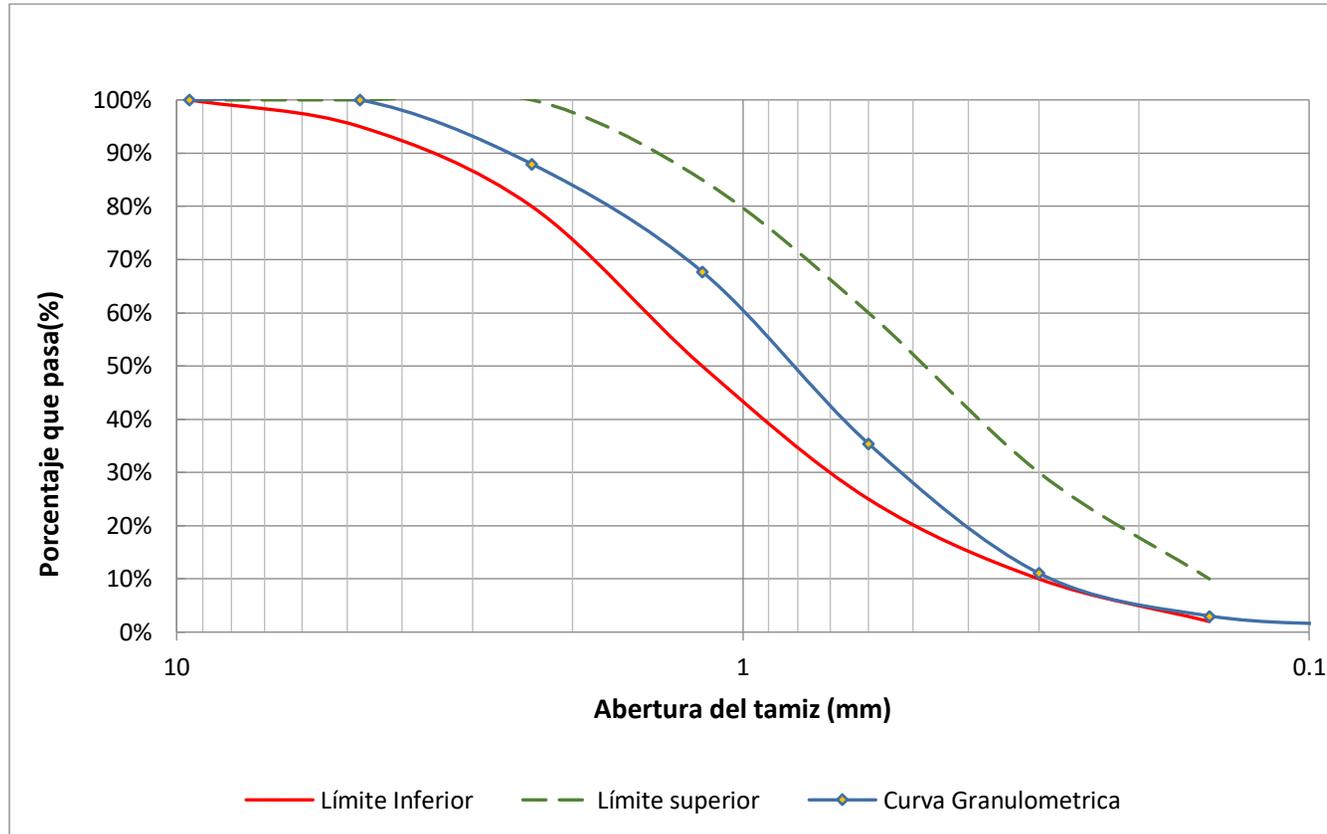
**Tabla 56***Granulometría del agregado fino de la cantera de Cunyac*

<b>PESOS DE LA MUESTRA</b>							
<b>Antes del lavado</b>				<b>Después del lavado</b>			
Peso de la Muestra Seca:		477.04 gr		Peso de la Muestra Seca:		476.06 gr	
<b>GRANULOMETRÍA</b>							
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% LIMITES NTP</b>	
						<b>LÍMITE INFERIOR</b>	<b>LÍMITE SUPERIOR</b>
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
N°4	4.75	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
N°8	2.36	57.38	12.03%	12.03%	87.97%	80%	100%
N°16	1.18	96.57	20.24%	32.27%	67.73%	50%	85%
N°30	0.600	154.10	32.30%	64.58%	35.42%	25%	60%
N°50	0.300	116.17	24.35%	88.93%	11.07%	10%	30%
N°100	0.150	38.30	8.03%	96.96%	3.04%	2%	10%
N°200	0.075	8.86	1.86%	98.81%	1.19%	0%	5%
Bandeja		4.97	1.04%	99.86%	0.14%		
Total, fracción retenida:		<b>476.35</b>	<b>100%</b>				

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 39

Curva granulométrica del agregado fino



*Nota.* La curva granulométrica se encuentra dentro de los límites establecidos. Fuente: Elaboración propia

### Análisis Granulométrico de la Piedra Chancada

Se obtuvo un error porcentual entre el peso inicial y el peso final de 0.01%, la distribución granulométrica pertenece al HUSO 56 y su gráfica correspondiente muestra que su curva granulométrica se encuentra dentro de los límites establecidos para este HUSO.

**Tabla 57**

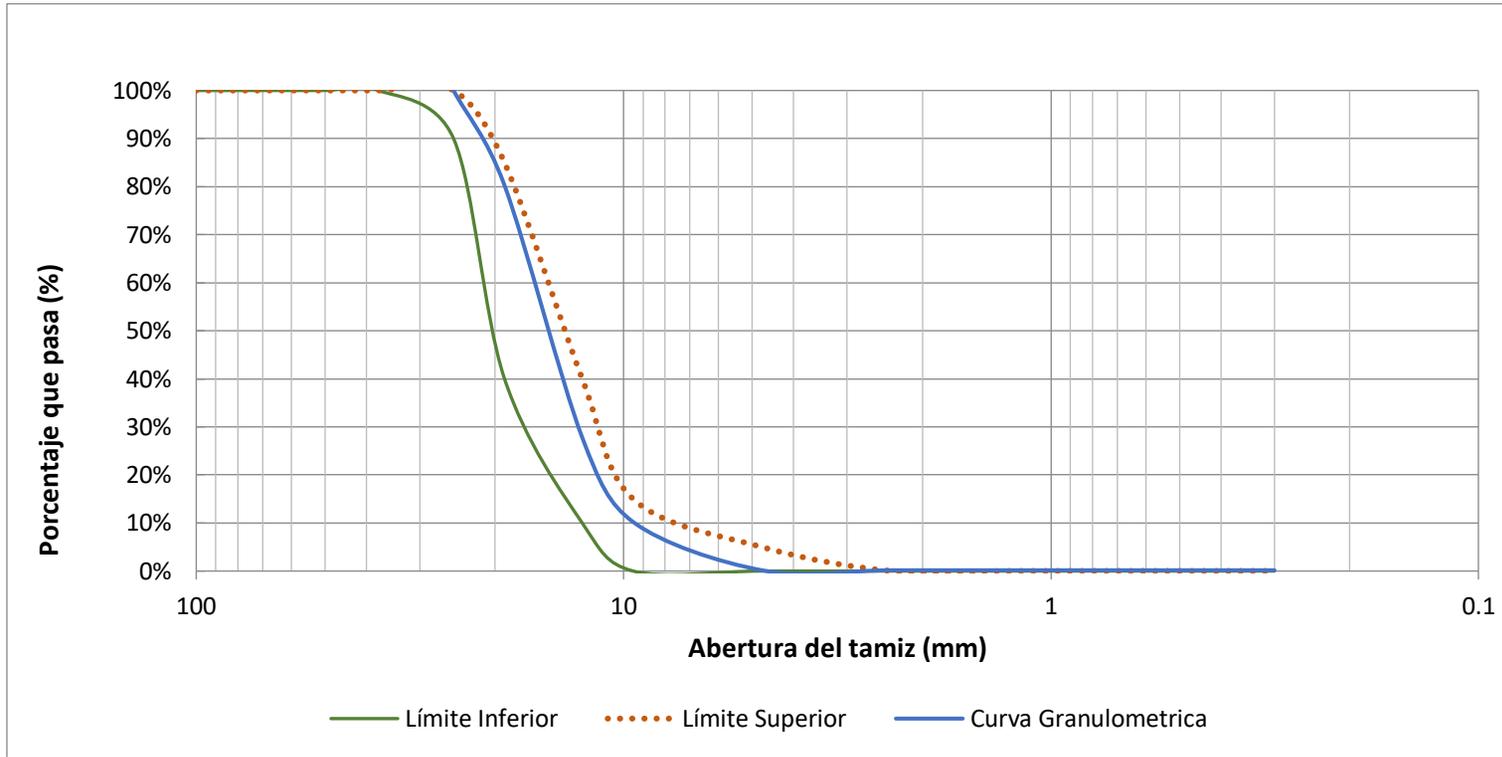
*Granulometría de la piedra chancada de la cantera de vicho*

PESOS DE LA MUESTRA							
Antes del lavado				Después del lavado			
Peso de la Muestra Seca:		5179.05 gr		Peso de la Muestra Seca:		5177.05 gr	
GRANULOMETRÍA							
HUSO: 56							
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	90%	100%
3/4"	19	1022.27	19.74%	19.74%	80.26%	40%	85%
1/2"	12.5	2717.69	52.47%	72.21%	27.79%	10%	40%
3/8"	9.5	910.42	17.58%	89.79%	10.21%	0%	15%
N°4	4.75	520.23	10.04%	99.84%	0.16%	0%	5%
N°8	2.36	0.00	0.00%	99.84%	0.16%	-	-
N°16	1.18	0.00	0.00%	99.84%	0.16%	-	-
N°50	0.30	0.00	0.00%	99.84%	0.16%	-	-
Bandeja		5.77	0.11%	99.95%	-		
Total, fracción retenida:		<b>5176.38</b>	<b>100%</b>				

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 40**

*Curva granulométrica de la piedra chancada*



*Nota.* La curva granulométrica encaja dentro de los límites del HUSO 56. Fuente: Elaboración propia

### Análisis Granulométrico de la Arcilla Térmicamente Expandida

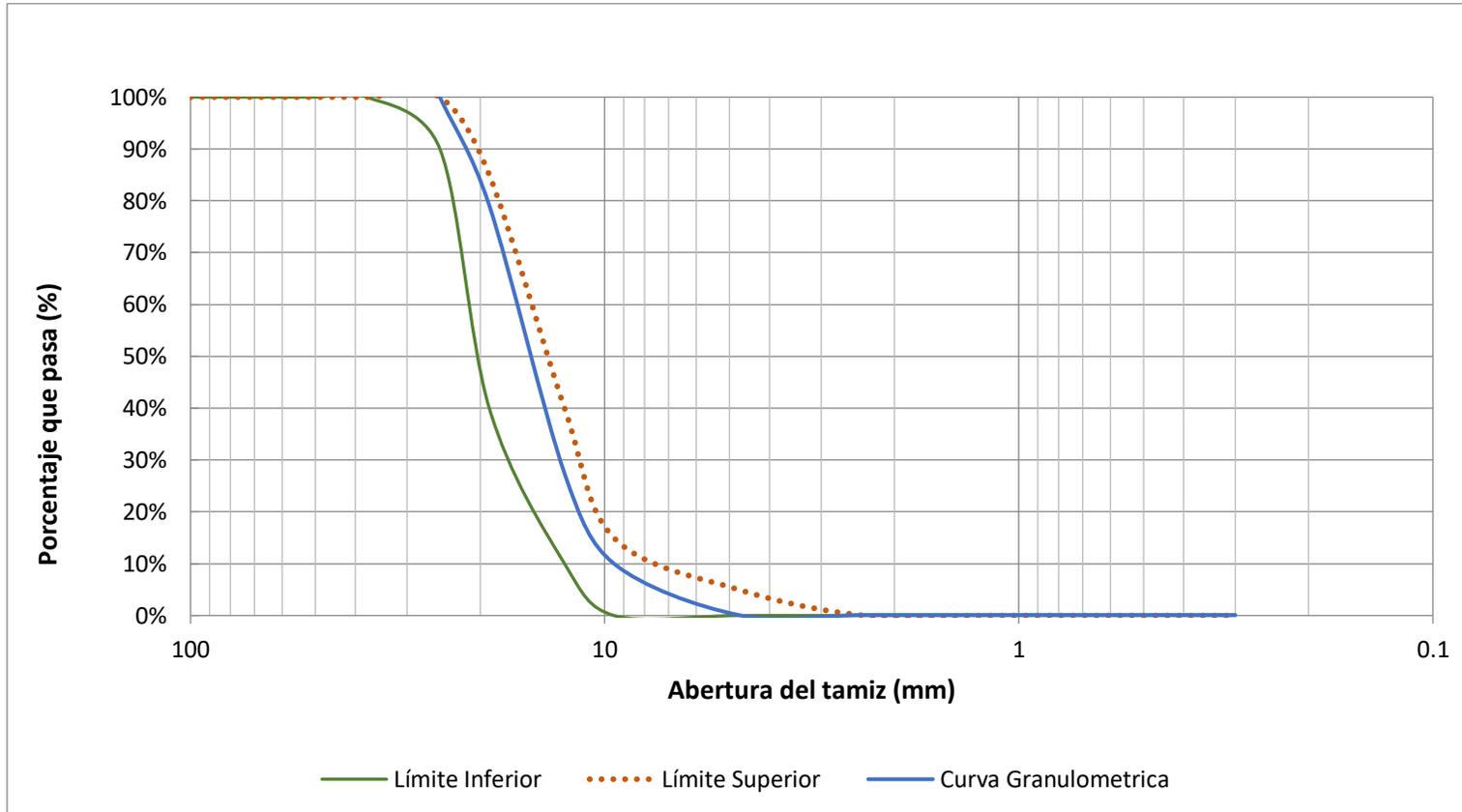
La granulometría de la arcilla térmicamente expandida muestra un error porcentual de 0.02% entre el peso inicial y final de la muestra. Se acomodó la distribución granulométrica dentro del HUSO 56, la gráfica presenta la curva correspondiente dentro de los límites establecidos del HUSO 56.

**Tabla 58**

*Granulometría de la arcilla térmicamente expandida*

<b>PESOS DE LA MUESTRA</b>							
<b>Antes del lavado</b>				<b>Después del lavado</b>			
Peso de la Muestra Seca:		4053.25 gr		Peso de la Muestra Seca:		4052.38 gr	
<b>GRANULOMETRÍA</b>							
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO: 56	
						LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	90%	100%
3/4"	19	846.52	20.88%	20.88%	79.12%	40%	85%
1/2"	12.5	2095.77	51.71%	72.59%	27.41%	10%	40%
3/8"	9.5	704.77	17.39%	89.98%	10.02%	0%	15%
N°4	4.75	401.94	9.92%	99.90%	0.10%	0%	5%
N°8	2.36	0.00	0.00%	99.90%	0.10%	-	-
N°16	1.18	0.00	0.00%	99.90%	0.10%	-	-
N°50	0.30	0.00	0.00%	99.90%	0.10%	-	-
Bandeja		2.63	0.06%	99.96%	-		
Total, fracción retenida en lavado:		<b>4051.63</b>	<b>100%</b>				

*Nota.* La distribución granulométrica está en función a la obtenida del agregado de piedra chancada. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 41***Curva granulométrica de la arcilla térmicamente expandida*

*Nota.* La curva granulométrica se encuentra dentro de los límites del HUSO 56. Fuente: Elaboración propia

### ***Peso Específico y Absorción***

#### **Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino**

Los ensayos realizados en laboratorio determinaron un peso específico de masa seca de 2.59 g/cm<sup>3</sup>, peso específico de masa saturada con superficie seca de 2.64 g/cm<sup>3</sup> y un peso específico aparente de 2.73 g/cm<sup>3</sup>. Además de obtuvo un porcentaje de absorción de 1.970% para el agregado fino.

**Tabla 59**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>
Volumen del picnómetro (ml)	500
Peso del picnómetro (g)	160.74
Peso del recipiente (g)	229.76
Peso del recipiente + muestra seca (g)	720.10
Peso de la muestra seca (g)	490.34
Peso del picnómetro + agua + muestra (g)	971.49
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	500.01
Peso de agua añadida al frasco (g)	310.74
Peso específico de masa seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.59
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.64
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.73</b>
<b>Absorción</b>	<b>1.970%</b>

*Nota.* Se siguió el procedimiento indicado en la norma MTC E 205. Fuente: Elaboración propia

#### **Peso Específico y Absorción de la Piedra Chancada**

Se obtuvieron los siguientes resultados: peso específico de masa seca de 2.35 g/cm<sup>3</sup>, peso específico de masa saturada con superficie seca de 2.39 g/cm<sup>3</sup> y un peso específico aparente de 2.46 g/cm<sup>3</sup>. Además de obtuvo un porcentaje de absorción de 1.878% para la piedra chancada de la cantera de vicho.

**Tabla 60***Peso específico y absorción de la piedra chancada*

Tamaño máximo nominal del agregado:	3/4"
Peso mínimo de la muestra:	3000 g
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>
Peso del recipiente (g)	567.10
Peso del recipiente + muestra seca en el aire (g)	5066.20
Peso de la muestra seca en el aire (g)	4499.10
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	4583.60
Peso de la muestra sumergida en agua (g)	2667.00
Peso específico de masa seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.35
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.39
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.46</b>
<b>Absorción</b>	<b>1.878%</b>

*Nota.* El ensayo se desarrolló de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 206.

Fuente: Elaboración propia

#### **Peso Específico y Absorción de la Arcilla Térmicamente Expandida**

El peso específico de masa seca obtenido para la arcilla térmicamente expandida fue de 0.72 g/cm<sup>3</sup>, el peso específico de masa saturada con superficie seca fue 0.86 g/cm<sup>3</sup> y el peso específico aparente fue 0.84 g/cm<sup>3</sup>. Además de obtuvo un porcentaje de absorción de 20.467%.

**Tabla 61***Peso específico y absorción de la arcilla térmicamente expandida*

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>
Volumen de la probeta (ml)	950
Peso de la probeta (g)	676.62
Peso del recipiente (g)	249.62
Peso del recipiente + muestra seca (g)	499.14
Peso de la muestra seca (g)	249.52
Peso de la probeta + agua + muestra (g)	1578.78
Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)	300.59
Peso de agua añadida al frasco (g)	601.57
Peso específico de masa seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.72
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.86
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>0.84</b>
<b>Absorción</b>	<b>20.467%</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## Contenido de Humedad

### Contenido de Humedad del Agregado Fino

En la siguiente tabla se muestra el contenido de humedad para el agregado fino de cunyac a partir de 03 muestras, obteniéndose un valor promedio de 1.78%.

**Tabla 62**

*Contenido de humedad del agregado fino*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de capsula (g)	58.52	57.51	58.19
Peso de capsula + muestra húmeda (g)	243.50	224.82	236.95
Peso de capsula + muestra seca (g)	240.31	221.85	233.82
Peso del agua (g)	3.19	2.97	3.13
Peso de la muestra seca (g)	181.79	164.34	175.63
Contenido de humedad	1.75%	1.81%	1.78%
<b>Contenido de humedad promedio</b>		<b>1.78%</b>	

*Nota.* El procedimiento seguido es el establecido en la norma MTC E 215.

Fuente: Elaboración propia

### Contenido de Humedad de la Piedra Chancada

Se determinó el promedio de tres muestras para el contenido de humedad de la piedra chancada de vico, teniendo como resultado un valor promedio de 1.65%.

**Tabla 63**

*Contenido de humedad de la piedra chancada de vicho*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de capsula (g)	60.96	57.79	58.61
Peso de capsula + muestra húmeda (g)	177.85	161.22	178.30
Peso de capsula + muestra seca (g)	175.96	159.46	176.44
Peso del agua (g)	1.89	1.76	1.86
Peso de la muestra seca (g)	115.00	101.67	117.83
Contenido de humedad	1.64%	1.73%	1.58%
<b>Contenido de humedad promedio</b>		<b>1.65%</b>	

*Nota.* Se procedió según lo establecido en la norma MTC E 215. Fuente: Elaboración propia

### Contenido de Humedad de la Arcilla Térmicamente Expandida

Se determinó el promedio de tres muestras para el contenido de humedad de la piedra chancada de vio, teniendo como resultado un valor promedio de 0.82%.

**Tabla 64**

*Contenido de humedad de arcilla térmicamente expandida*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de capsula (g)	57.28	57.23	55.81
Peso de capsula + muestra húmeda (g)	103.80	91.25	90.57
Peso de capsula + muestra seca (g)	103.39	90.99	90.29
Peso del agua (g)	0.41	0.26	0.28
Peso de la muestra seca (g)	46.11	33.76	34.48
Contenido de Humedad	0.89%	0.77%	0.81%
Contenido de Humedad promedio		0.82%	

*Nota.* El procedimiento seguido es el establecido en la norma MTC E 215.

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de abrasión por desgaste en la máquina Los Ángeles de la piedra chancada

Se determinó que el peso de la muestra que pasa el tamiz N°12 después del ensayo fue de 1493.76, teniendo así un porcentaje de abrasión de 29.85%.

**Tabla 65**

*Granulometría según el tipo de gradación*

Granulometría según el tipo de gradación			Peso de la muestra seca
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Gradación B	
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	2500 ± 10	2500.19
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	2500 ± 10	2503.73
Total (g)		5000 ± 10	5003.92

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la muestra seca antes del ensayo (g)	5003.92
Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz N° 12 después del ensayo (g)	3510.16
<b>Peso de la muestra que pasa el tamiz N° 12 después del ensayo (g)</b>	1493.76
<b>Porcentaje de abrasión</b>	29.85%

*Nota.* El tamaño máximo nominal de la piedra chancada es de 3/4" por lo que le corresponde la gradación B. Fuente: Elaboración propia

**Ensayo de abrasión por desgaste en la máquina Los Ángeles de la arcilla  
térmicamente expandida**

Se determinó que el peso de la muestra que pasa el tamiz N°12 después del ensayo fue de 1658.26, teniendo así un porcentaje de abrasión de 33.11%.

**Tabla 66**  
*Granulometría según el tipo de gradación*

Granulometría según el tipo de gradación			Peso de la muestra seca
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Gradación B	
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	2500 ± 10	2505.17
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	2500 ± 10	2503.04
Total (g)		5000 ± 10	5008.21

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01
Peso de la muestra seca antes del ensayo (g)	5008.21
Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz N° 12 después del ensayo (g)	3349.95
<b>Peso de la muestra que pasa el tamiz N° 12 después del ensayo (g)</b>	1658.26
<b>Porcentaje de abrasión</b>	33.11%

*Nota.* El tamaño máximo nominal de la arcilla térmicamente expandida es de 3/4" por lo que le corresponde la gradación B. Fuente: Elaboración propia

**Resultados del Diseño de Mezcla**

***Diseño de Mezcla de Concreto Patrón  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con piedra chancada de vicho***

Diseño final para 01 m<sup>3</sup> de concreto patrón con piedra chancada de vicho.

**Tabla 67**  
*Proporciones para 01 m<sup>3</sup> de concreto patrón  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

DISEÑO DE MEZCLA	AGUA	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Proporciones en peso (kg)	208.53	373.44	783.40	955.48
Proporciones en peso	Ra/c = 0.56	1.00	2.10	2.56
Proporciones (m <sup>3</sup> )	0.209	8.79 bolsas	0.287	0.368

*Nota.* El diseño de mezclas sigue el procedimiento establecido por la norma ACI 211.

Fuente: Elaboración propia

## Diseño por bolsa de cemento

**Tabla 68***Diseño por una bolsa de cemento de 42.5 kg de peso*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
Proporciones en peso por una bolsa de cemento (kg)	23.732	42.50	89.156	108.739

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación en peso para la cantidad requerida de testigos cilíndricos de concreto patrón.

**Tabla 69***Cantidad de concreto necesaria para 24 testigos cilíndricos*

<b>Características de los testigos cilíndricos</b>				
Altura (m)		0.30		
Diámetro (m)		0.15		
Volumen (m <sup>3</sup> )		0.00530		
Número total de testigos requerido		24		
Volumen total de concreto requerido		0.127		
<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
Proporciones en peso (kg)	27.859	49.891	104.659	127.649

*Nota.* Se consideró tres edades para el estudio de la resistencia a la compresión (07, 14 y 28 días)

Fuente: Elaboración propia

Dosificación en peso la cantidad requerida de bloques de concreto patrón.

**Tabla 70**

*Cantidad de concreto necesaria para 04 bloques*

<b>Características de los bloques de concreto</b>				
Largo (m)		0.30		
Ancho (m)		0.30		
Altura (m)		0.0254		
Volumen (m <sup>3</sup> )		0.0023		
Número total de bloques requerido		04		
Volumen total de concreto requerido		0.009		
<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
Proporciones en peso (kg)	1.907	3.415	7.163	8.737

*Nota.* Las dimensiones consideradas son de acuerdo a lo requerido por el equipo medidor de flujo de calor HFM-100. Fuente: Elaboración propia

### ***Diseño de Mezcla con Sustitución de la Piedra Chancada con Arcilla Térmicamente***

#### ***Expandida***

Se realizó la sustitución total de la piedra chancada de vicho con arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco. Para ello se obtiene la siguiente equivalencia de volumen y peso entre ambos materiales.

**Tabla 71**

*Equivalencia del peso y volumen de arcilla térmicamente expandida que sustituye a la piedra chancada*

<b>Equivalencia de peso de arcilla térmicamente expandida por m<sup>3</sup></b>	
Volumen de agregado grueso de piedra chancada (m <sup>3</sup> )	0.368
Peso de agregado grueso de piedra chancada (kg)	955.48
Volumen equivalente de arcilla térmicamente expandida (m <sup>3</sup> )	0.368
Peso específico de la arcilla térmicamente expandida (kg/m <sup>3</sup> )	839.00
<b>Peso requerido de arcilla térmicamente expandida (kg)</b>	<b>308.68</b>

*Nota.* Se requiere menor peso debido a que la arcilla expandida posee menor peso específico.

Fuente: Elaboración propia

**Diseño por 01 m3 de concreto con arcilla térmicamente expandida.**

**Tabla 72**

*Proporciones para 01 m3 de concreto con arcilla térmicamente expandida*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA</b>
Proporciones en peso (kg)	208.53	373.44	783.40	308.68
Proporciones en peso	Ra/c = 0.56	1.00	2.10	2.56
Proporciones (m3)	0.209	8.79 bolsas	0.287	0.368

*Nota.* Se realizó la sustitución con arcilla expandida en el diseño realizado para el concreto patrón. Fuente: Elaboración propia

**Diseño por bolsa de cemento**

**Tabla 73**

*Diseño por una bolsa de cemento de 42.5 kg de peso*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>ARCILLA TERM. EXPANDIDA</b>
Proporciones en peso por una bolsa de cemento (kg)	23.732	42.500	89.156	35.130

Fuente: Elaboración propia

**Dosificación en peso para la cantidad requerida de testigos cilíndricos de concreto con arcilla térmicamente expandida.**

**Tabla 74**

*Cantidad de concreto necesaria para 24 testigos cilíndricos*

<b>Características de los testigos cilíndricos</b>				
Altura (m)		0.30		
Diámetro (m)		0.15		
Volumen (m3)		0.00530		
Número total de testigos requerido		24.00		
Volumen total de concreto requerido		0.127		

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA</b>
Proporciones en peso (kg)	27.859	49.891	104.659	39.275

*Nota.* Se requieren ocho briquetas por cada día de ensayo (07,14, 28). Fuente: Elaboración propia

**Dosificación en peso la cantidad requerida de bloques de concreto con arcilla  
térmicamente expandida.**

**Tabla 75**

*Cantidad de concreto necesaria para 04 bloques*

<b>Características de los bloques de concreto</b>				
Largo (m)			0.30	
Ancho (m)			0.30	
Altura (m)			0.0254	
Volumen (m3)			0.00229	
Número total de bloques requerido			04	
Volumen total de concreto requerido			0.009	
<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
Proporciones en peso (kg)	1.907	3.415	7.163	2.823

*Nota.* Las dimensiones consideradas son de acuerdo a las especificaciones del equipo medidor de flujo HFM-100. Fuente: Elaboración propia

**Resultados del Asentamiento y Consistencia**

El concreto patrón con piedra chancada presentó un asentamiento o slump de 3.2 pulgadas y el concreto con arcilla térmicamente expandida tuvo un slump de 2.6 pulgadas. Ambos tipos de concreto presentaron una consistencia plástica.

**Tabla 76**

*Asentamiento medido mediante ensayo del cono de Abrams*

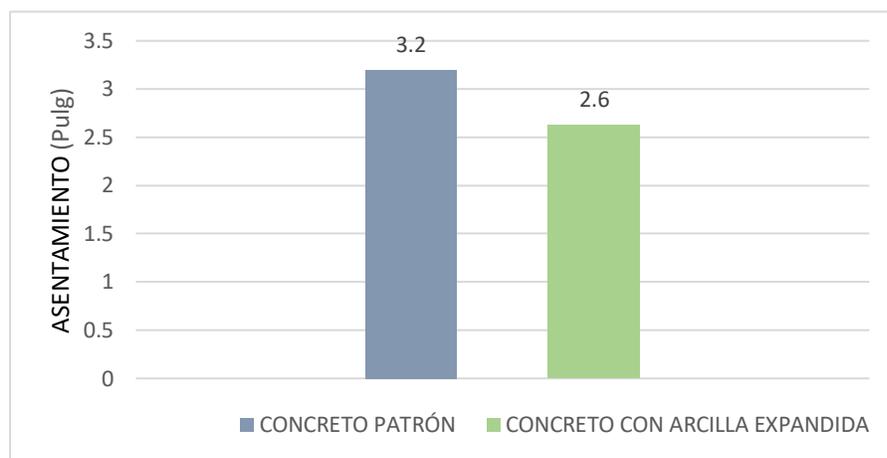
	<b>Concreto patrón con piedra chancada</b>	<b>Concreto con arcilla térmicamente expandida</b>
<b>SLUMP (pulg)</b>	3.2	2.6
<b>SLUMP (cm)</b>	8.13	6.67
<b>Consistencia</b>	Plástica	Plástica

*Nota.* Se observa un asentamiento menor en el concreto elaborado con arcilla expandida.

Fuente: Elaboración propia

## Gráfica 42

*Asentamiento de concreto por cada tipo de agregado utilizado*



*Nota.* Se observa el asentamiento de ambos tipos de concreto. Fuente: Elaboración propia

## Resultados de Ensayo de Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco

### *Peso Unitario Fresco del Concreto Patrón*

El peso unitario fresco obtenido para el concreto patrón con piedra chancada fue de 2417.87 kg/m<sup>3</sup>. Los datos utilizados para los cálculos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 77**

*Peso unitario fresco del concreto patrón con piedra chancada*

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Número de capas	03	03
Número de golpes	25	25
Peso del molde (g)	7900	7900
Peso del molde + muestra compactada (g)	14900	15000
Peso de la muestra compactada (g)	7000.00	7100.00
Altura del molde (cm)	16.50	16.50
Diámetro del molde (cm)	15.00	15.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2915.79	2915.79
Peso Unitario en estado fresco (g/cm <sup>3</sup> )	2.401	2.435
<b>Promedio de peso unitario fresco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.4179</b>	
<b>Promedio de peso unitario fresco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2417.87</b>	

*Nota.* El peso obtenido corresponde a un concreto de peso normal. Fuente: Elaboración propia.

***Peso Unitario Fresco del Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida***

El peso unitario fresco que se obtuvo para el concreto con arcilla térmicamente expandida es de 1629.06 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 78**

*Peso unitario fresco del concreto patrón con piedra chancada*

<b>DATOS DEL ENSAYO</b>	<b>MUESTRA 01</b>	<b>MUESTRA 02</b>
Número de capas	03	03
Número de golpes	25	25
Peso del molde (g)	7900	7900
Peso del molde + muestra compactada (g)	12700	12600
Peso de la muestra compactada (g)	4800.00	4700.00
Altura del molde (cm)	16.50	16.50
Diámetro del molde (cm)	15.00	15.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2915.79	2915.79
Peso Unitario en estado fresco (g/cm <sup>3</sup> )	1.646	1.612
<b>Promedio de peso unitario fresco (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.6291</b>
<b>Promedio de peso unitario fresco (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>1629.06</b>

*Nota.* El peso unitario obtenido corresponde a un concreto ligero. Fuente: Elaboración propia

## Resultados de Resistencia a la Compresión

### Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón

**Resistencia a la compresión a los 07 días.** La resistencia obtenida a los 07 días debe ser como mínimo el 65% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 175.35 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 182.35 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 179.05 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 79**

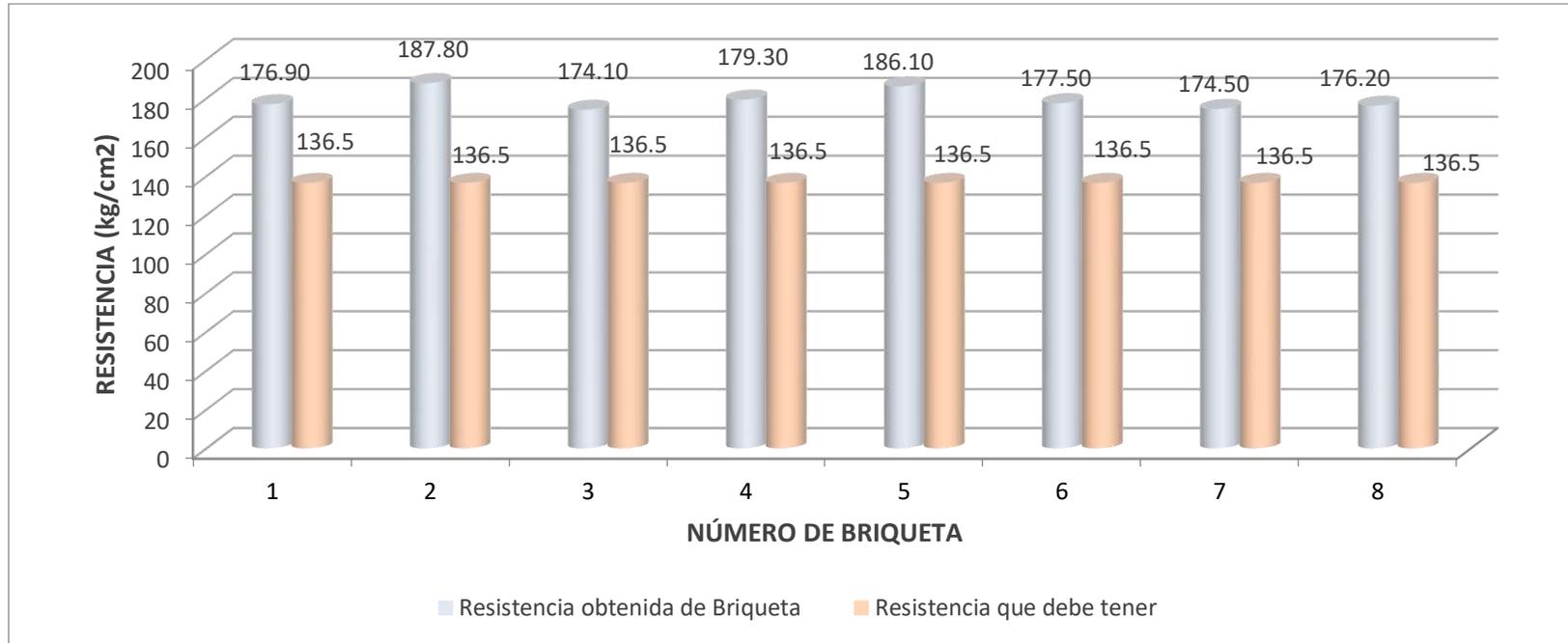
*Resistencia a la compresión a los 07 días de concreto con piedra chancada*

TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO PATRÓN CON PIEDRA CHANCADA									
N°	CÓDIGO	FECHA		EDAD (días)	RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA QUE DEBE TENER A LOS 07 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO POR ENSAYO	PROMEDIO
		MOLDEO	ROTURA						
1	CP 01	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	176.90	182.35	179.05
2	CP 02	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	187.80		
3	CP 03	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	174.10	176.7	
4	CP 04	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	179.30		
5	CP 05	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	186.10	181.8	
6	CP 06	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	177.50		
7	CP 07	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	174.50	175.35	
8	CP 08	22/04/2024	29/04/2024	07	210	136.5	176.20		

*Nota.* Se consideró que a los 07 días se debe alcanzar aproximadamente el 65% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 43**

*Resistencia obtenida a los 07 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* Todas las muestras superan el 65% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Resistencia a la compresión a los 14 días.** La resistencia obtenida a los 14 días debe ser por lo menos el 90% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 218.25 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 230.55 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 223.94 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 80**

*Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto con piedra chancada*

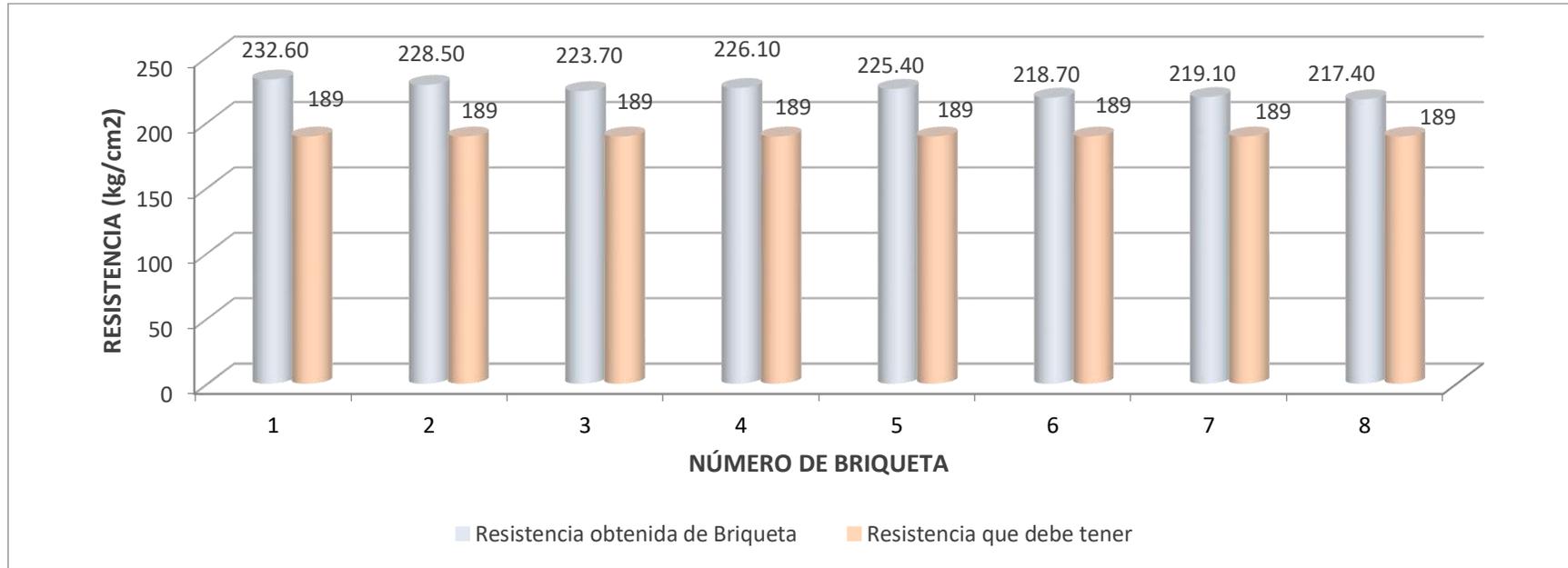
<b>TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO PATRÓN CON PIEDRA CHANCADA</b>									
N°	CÓDIGO	FECHA		EDAD (días)	RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA QUE DEBE TENER A LOS 14 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO POR ENSAYO	PROMEDIO
		MOLDEO	ROTURA						
1	CP 09	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	232.60	230.55	223.9375
2	CP 10	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	228.50		
3	CP 11	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	223.70	224.9	
4	CP 12	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	226.10		
5	CP 13	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	225.40	222.05	
6	CP 14	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	218.70		
7	CP 15	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	219.10	218.25	
8	CP 16	22/04/2024	06/05/2024	14	210	189	217.40		

*Nota.* Se consideró que a los 14 días se debe alcanzar aproximadamente un 90% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración

propia

**Gráfica 44**

*Resistencia obtenida a los 14 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* Se observa que todas las muestras el 90% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Resistencia a la compresión a los 28 días.** La resistencia obtenida a los 28 días debe estar por encima del 99% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 239.65 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 253.95 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 244.575 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 81**

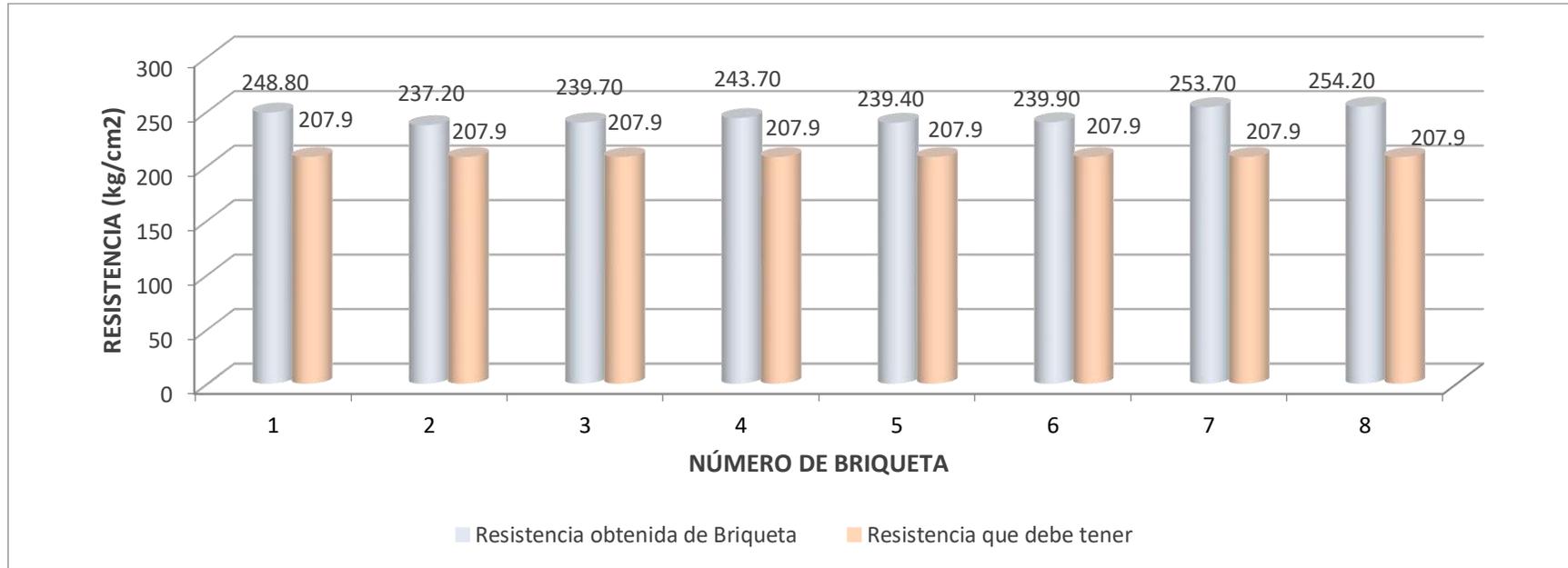
*Resistencia a la compresión a los 28 días de concreto con piedra chancada*

TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO PATRÓN CON PIEDRA CHANCADA									
N°	CÓDIGO	FECHA		EDAD (días)	RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA QUE DEBE TENER A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO POR ENSAYO	PROMEDIO
		MOLDEO	ROTURA						
1	CP 17	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	248.80	243.0	244.575
2	CP 18	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	237.20		
3	CP 19	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	239.70	241.7	
4	CP 20	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	243.70		
5	CP 21	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	239.40	239.65	
6	CP 22	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	239.90		
7	CP 23	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	253.70	253.95	
8	CP 24	22/04/2024	20/05/2024	28	210	207.9	254.20		

*Nota.* A los 28 días se debe alcanzar aproximadamente el 99% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 45**

*Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* Todas las muestras cumplen con la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de diseño. Fuente: Elaboración propia

### **Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida**

**Resistencia a la compresión a los 07 días.** La resistencia obtenida a los 07 días debe ser como mínimo el 65% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 149.90 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 169.65 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 160.99 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 82**

*Resistencia a la compresión a los 07 días de concreto con arcilla térmicamente expandida*

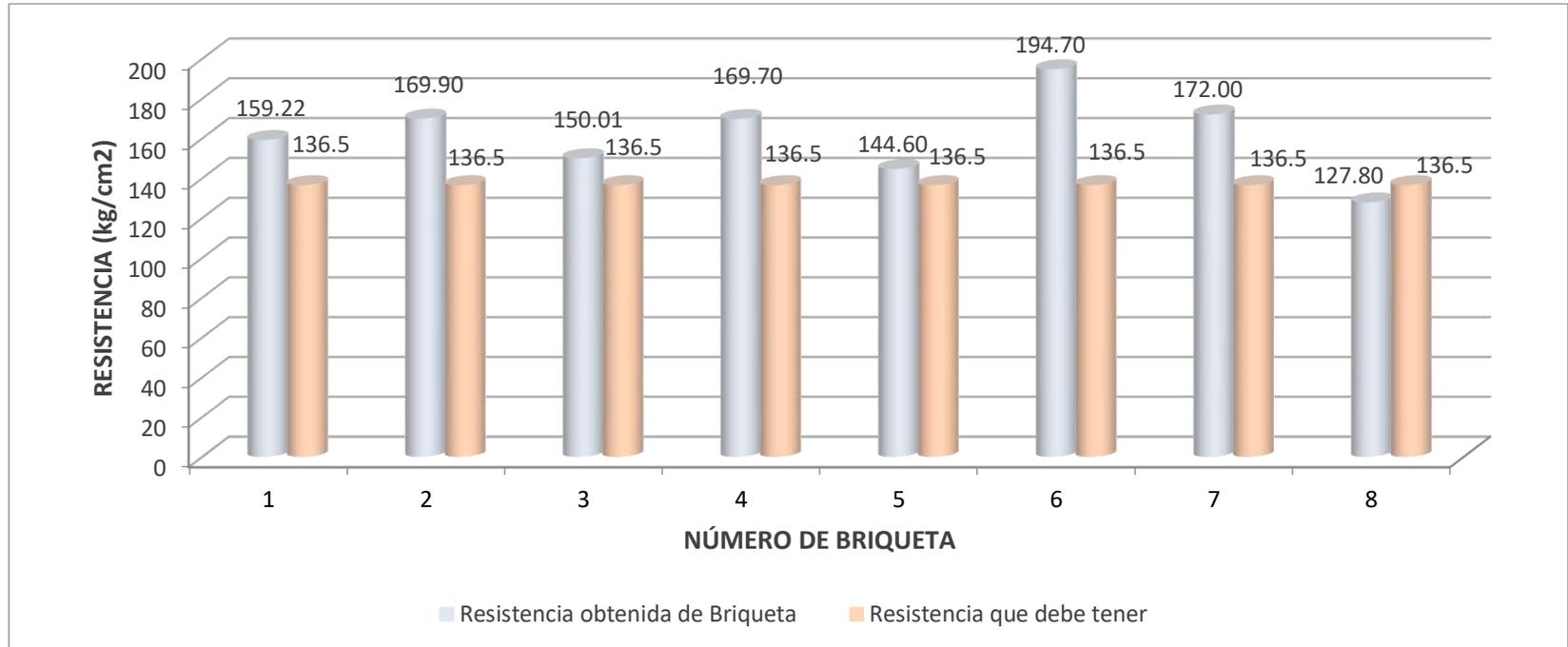
<b>TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA</b>									
N°	Código	Fecha		Edad (días)	Resistencia requerida a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia que debe tener a los 07 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia obtenida (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio por ensayo	Promedio
		Moldeo	Rotura						
1	CATE 01	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	159.22	164.56	160.99125
2	CATE 02	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	169.90		
3	CATE 03	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	150.01	159.855	
4	CATE 04	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	169.70		
5	CATE 05	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	144.60	169.65	
6	CATE 06	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	194.70		
7	CATE 07	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	172.00	149.9	
8	CATE 08	12/04/2024	19/04/2024	07	210	136.5	127.80		

*Nota.* Se tienen valores de resistencia similares a las del concreto patrón, alcanzando el 65% de la resistencia a los 07 días.

Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 46

*Resistencia obtenida a los 07 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* Se observa que una muestra no alcanzó el 65% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Resistencia a la compresión a los 14 días.** La resistencia obtenida a los 14 días debe ser por lo menos el 90% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 185.4 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 198.6 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 193.08 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 83**

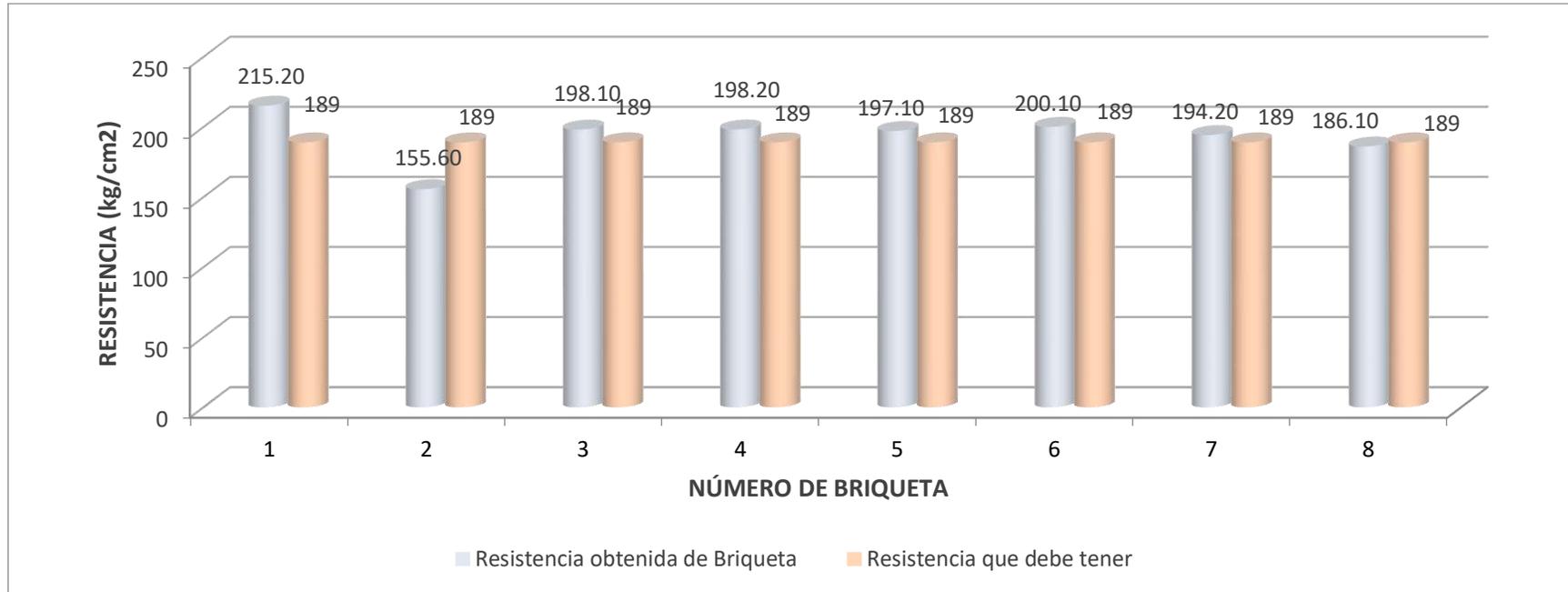
*Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto con arcilla térmicamente expandida*

<b>TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA</b>									
N°	CÓDIGO	FECHA		EDAD (días)	RESISTENCIA	RESISTENCIA	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO POR ENSAYO	PROMEDIO
		MOLDEO	ROTURA		REQUERIDA A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	QUE DEBE TENER A LOS 14 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )			
1	CATE 09	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	215.20	185.4	193.075
2	CATE 10	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	155.60		
3	CATE 11	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	198.10	198.15	
4	CATE 12	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	198.20		
5	CATE 13	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	197.10	198.6	
6	CATE 14	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	200.10		
7	CATE 15	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	194.20	190.15	
8	CATE 16	12/04/2024	26/04/2024	14	210	189	186.10		

*Nota.* A los 14 días se debe alcanzar aproximadamente el 65% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 47**

*Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* La grafica muestra que dos briquetas no alcanzaron el 65% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Resistencia a la compresión a los 28 días.** La resistencia obtenida a los 28 días debe estar por encima del 99% de la resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la menor resistencia promedio obtenida por ensayo es de 197.9 kg/cm<sup>2</sup>, la mayor resistencia promedio por ensayo es de 220.75 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia promedio de todos los ensayos es de 211.59 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 84**

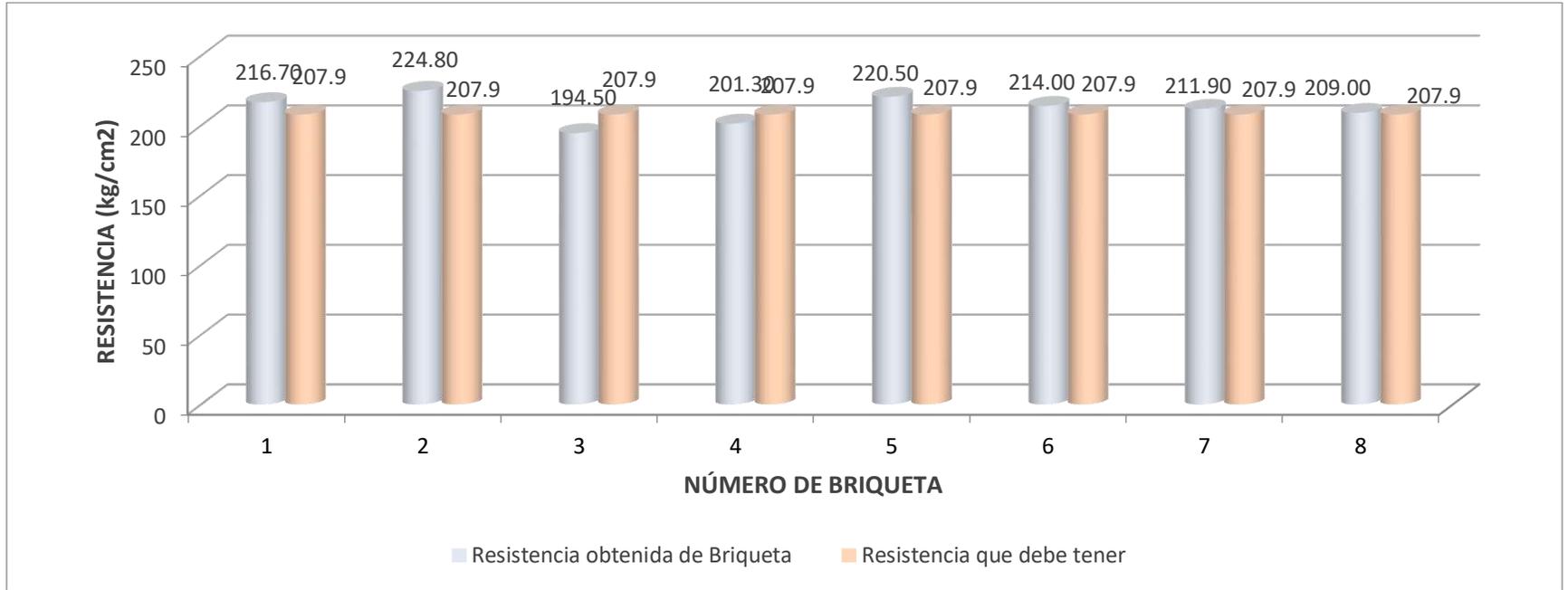
*Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener*

TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO CON ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA									
N°	CÓDIGO	FECHA		EDAD (días)	RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA QUE DEBE TENER A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO POR ENSAYO	PROMEDIO
		MOLDEO	ROTURA						
1	CATE 17	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	216.70	220.75	211.5875
2	CATE 18	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	224.80		
3	CATE 19	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	194.50	197.9	
4	CATE 20	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	201.30		
5	CATE 21	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	220.50	217.25	
6	CATE 22	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	214.00		
7	CATE 23	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	211.90	210.45	
8	CATE 24	12/04/2024	10/05/2024	14	210	207.9	209.00		

*Nota.* A los 28 días se debe alcanzar aproximadamente el 99% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 48**

*Resistencia obtenida a los 28 días y la resistencia mínima que debe tener*



*Nota.* La grafica muestra que dos briquetas no alcanzaron el 99% de la resistencia de diseño. Fuente: Elaboración propia

## **Resultados del Análisis de costo de producción por metro cúbico de concreto**

### ***Costo de Producción de 01 m<sup>3</sup> de Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida***

#### **Análisis de cantidad de materiales y rendimientos.**

De acuerdo a la experimentación, se tiene que, el volumen producido de esferas de arcilla cruda es igual al volumen utilizado de arcilla en estado natural.

Se obtuvo que la arcilla negra de Sicuani expande hasta 2.42 veces su volumen inicial, ya que, para producir 150 litros de arcilla térmicamente expandida, se calcinaron aproximadamente 62 litros de esferas de arcilla en estado crudo, por lo que, para producir un m<sup>3</sup> de arcilla térmicamente expandida, se requiere 0.41 m<sup>3</sup> de arcilla en estado natural.

Para el amasado de la arcilla en estado natural, se requiere un volumen de agua equivalente al 30% de volumen de arcilla en estado natural, por lo que, para producir un m<sup>3</sup> de arcilla térmicamente expandida, se requieren 0.12 m<sup>3</sup> de agua.

Para realizar 92 litros de esferas de arcilla en estado crudo, se requirieron cuatro días de jornada laboral (ocho horas), por lo que el rendimiento de una persona es 0.023 m<sup>3</sup>/día.

Para realizar la sinterización de 150 litros de arcilla térmicamente expandida, se requirieron un total de ocho quintales de leña, entonces para obtener un m<sup>3</sup> de arcilla térmicamente expandida, se requieren 53.33 quintales de leña.

En dos horneadas se obtuvieron 150 litros de arcilla térmicamente expandida; cada horneada dura entre tres a cuatro horas, por lo que, podemos indicar que, el rendimiento de una persona encargada de la sinterización de la arcilla es de 0.15 m<sup>3</sup>/día.

Finalmente, se determinó mediante el análisis de precio unitario de la elaboración de arcilla térmicamente expandida en la región Cusco, que el costo aproximado de producción de 01 m<sup>3</sup> de este material es de S/ 2972.49 soles.

**Análisis de precios unitarios para la elaboración de un m3 de arcilla térmicamente  
expandida.**

**Tabla 85**

*Costo de elaboración de arcilla térmicamente expandida*

<b>Partida: Pelletización y redondeo de la arcilla.</b>					
Costo unitario directo por 01 m3					
<b>Rendimiento:</b>	m3/día	<b>Mano de obra=</b>	0.023		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>
<b>Materiales</b>					
Arcilla en estado natural	m3		0.41	S/ 22.22	S/ 9.19
Agua	m3		0.12	S/ 11.00	S/ 1.36
<b>Mano de obra</b>					
Peón	hh	1	347.83	S/ 5.00	S/ 1,739.13
<b>Partida: Sinterización de la arcilla.</b>					
Costo unitario directo por 01 m3					
<b>Rendimiento:</b>	m3/día	<b>Mano de obra=</b>	0.15		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>
<b>Materiales</b>					
Leña	quintal		53.33	S/ 12.00	S/ 640.00
<b>Mano de obra</b>					
Peón	hh	1	53.33	S/ 5.00	S/ 266.67
					<b>Costo total por 01 m3 S/ 2,656.35</b>

*Nota.* Los costos presentados corresponden a cotizaciones realizadas en el mes de febrero de 2024. Fuente: Elaboración propia

### Análisis de precios unitarios para la elaboración de un m<sup>3</sup> de concreto

f'c=210kg/cm<sup>2</sup> con arcilla térmicamente expandida.

**Tabla 86**

*Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de concreto con arcilla térmicamente expandida*

<b>Partida: Concreto F'c=210kg/cm<sup>2</sup></b>						
Costo unitario directo por 01 m <sup>3</sup>						
<b>Rendimiento:</b>	m <sup>3</sup> /día	<b>Mano de obra=</b>	10	<b>Equipo=</b>	10	
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>	<b>Índice Unificado</b>
<b>Materiales</b>						
Cemento Portland tipo IP	bolsa		8.79	S/ 25.50	S/ 224.15	21
Arcilla térmicamente expandida	m <sup>3</sup>		0.368	S/ 2,656.35	S/ 977.54	5
Arena gruesa de la cantera	m <sup>3</sup>		0.287	S/ 80.00	S/ 22.96	38
Cunyac						
Agua potable	m <sup>3</sup>		0.209	S/ 2.71	S/ 0.57	
<b>Mano de obra</b>						
Operario	hh	1	0.800	S/ 16.74	S/ 14.45	47
Oficial	hh	1	0.800	S/ 13.18	S/ 11.41	47
Peón	hh	4	3.200	S/ 11.96	S/ 10.36	47
<b>Equipos y herramientas</b>						
Mezcladora 9p3	hm	1	0.800	S/ 7.50	S/ 6.00	48
Vibrador a gasolina 4HP	hm	1	0.800	S/ 5.00	S/ 4.00	49
Herramientas manuales	%		0.030	S/ 36.22	S/ 1.09	37
<b>COSTO TOTAL =</b>					<b>S/ 1,272.51</b>	

*Nota.* Los costos presentados corresponden a cotizaciones realizadas en el mes de febrero de

2024. Fuente: Elaboración propia

**Costo de Producción de 01 m3 de Concreto con Piedra Chancada de la Cantera Vicho**

**Tabla 87**

Costo de producción de 1 m3 de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho

<b>Partida: Concreto F'c=210kg/cm2</b>						
Costo unitario directo por 01 m3						
<b>Rendimiento:</b>	m3/día	<b>Mano de obra=</b>	10	<b>Equipo=</b>	10	
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>	<b>Índice Unificado</b>
<b>Materiales</b>						
Cemento Portland tipo IP	bolsa		8.79	S/ 25.50	S/ 224.15	21
Piedra chancada de la cantera Vicho	m3		0.368	S/ 60.00	S/ 22.08	5
Arena gruesa de la cantera Cunyac	m3		0.287	S/ 80.00	S/ 22.96	38
Agua potable	m3		0.209	S/ 2.71	S/ 0.57	
<b>Mano de obra</b>						
Operario	hh	1	0.800	S/ 16.74	S/ 14.45	47
Oficial	hh	1	0.800	S/ 13.18	S/ 11.41	47
Peón	hh	4	3.200	S/ 11.96	S/ 10.36	47
<b>Equipos y herramientas</b>						
Mezcladora 9p3	hm	1	0.800	S/ 7.50	S/ 6.00	48
Vibrador a gasolina 4HP	hm	1	0.800	S/ 5.00	S/ 4.00	49
Herramientas manuales	%		0.030	S/ 36.22	S/ 1.09	37
<b>COSTO TOTAL =</b>					<b>S/ 317.05</b>	

*Nota.* Los costos presentados corresponden a cotizaciones realizadas en el mes de febrero de 2024. Fuente: Elaboración propia

## Resultados de La Conductividad Térmica

El ensayo de conductividad térmica se realizó con el aparato medidor de flujo de calor HFM-100 de fabricación por la industria Thermttest instruments. Este equipo requiere que las muestras tengan dimensiones aproximadas de 30 cm de ancho, 30 cm de largo y un espesor aproximado de una pulgada.

**Tabla 88**

*Características de las muestras*

<b>DIMENSIONES APROXIMADAS DE LA MUESTRA</b>	
Largo del bloque (m)	0.30
Ancho del bloque (m)	0.30
Espesor del bloque (m)	0.0254

*Nota.* Las dimensiones están según las especificaciones del equipo. Fuente: Elaboración propia

### ***Resultados de la Conductividad Térmica del Concreto Patrón***

Los resultados obtenidos para el concreto patrón con piedra chancada muestran que el coeficiente de conductividad térmica promedio más bajo obtenido es de 0.474 W/m.K° correspondiente a la muestra CPAT04 y el coeficiente más alto es de 0.506 W/m.K° obtenido para la muestra CPAT01.

**Tabla 89**

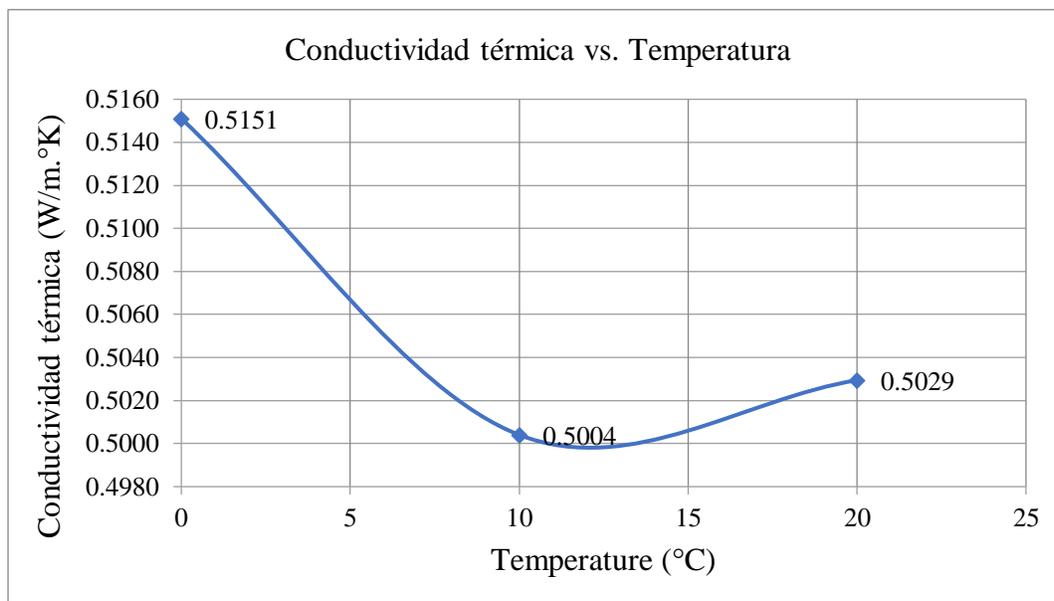
*Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 01*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CPAT 01	25.18	5.0	-5.0	0.0	0.5104
CPAT 01	25.18	5.0	-5.0	0.0	0.5188
CPAT 01	25.18	5.0	-5.0	0.0	0.5160
CPAT 01	25.18	15.0	5.0	10.0	0.4988
CPAT 01	25.18	15.0	5.0	10.0	0.5011
CPAT 01	25.18	15.0	5.0	10.0	0.5013
CPAT 01	25.18	25.0	15.0	20.0	0.5014
CPAT 01	25.18	25.0	15.0	20.0	0.5033
CPAT 01	25.18	25.0	15.0	20.0	0.5041

*Nota.* Se tienen tres mediciones para cada temperatura de ensayo. Fuente: Elaboración propia.

### Gráfica 49

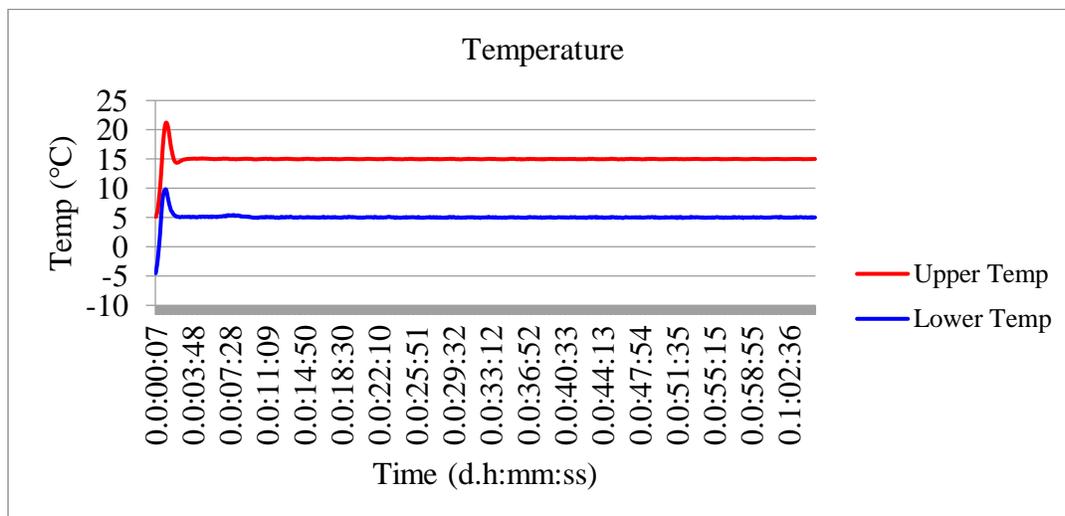
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 01



Nota. Se observa que se obtiene el valor más bajo a los 10°C. Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 50

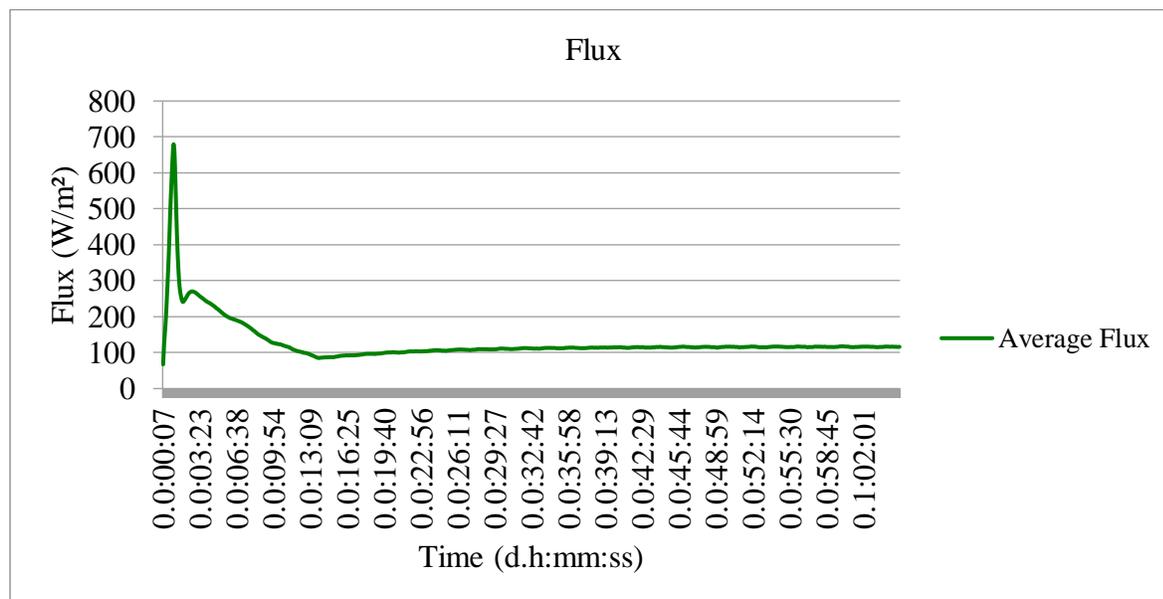
Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 01



Nota. La grafica muestra una fluctuación inicial en las temperaturas superior e inferior, para posteriormente mantener la estabilidad requerida para la medición. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 51**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 01



Nota. El flujo de calor debe ser constante durante la medición. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 90**

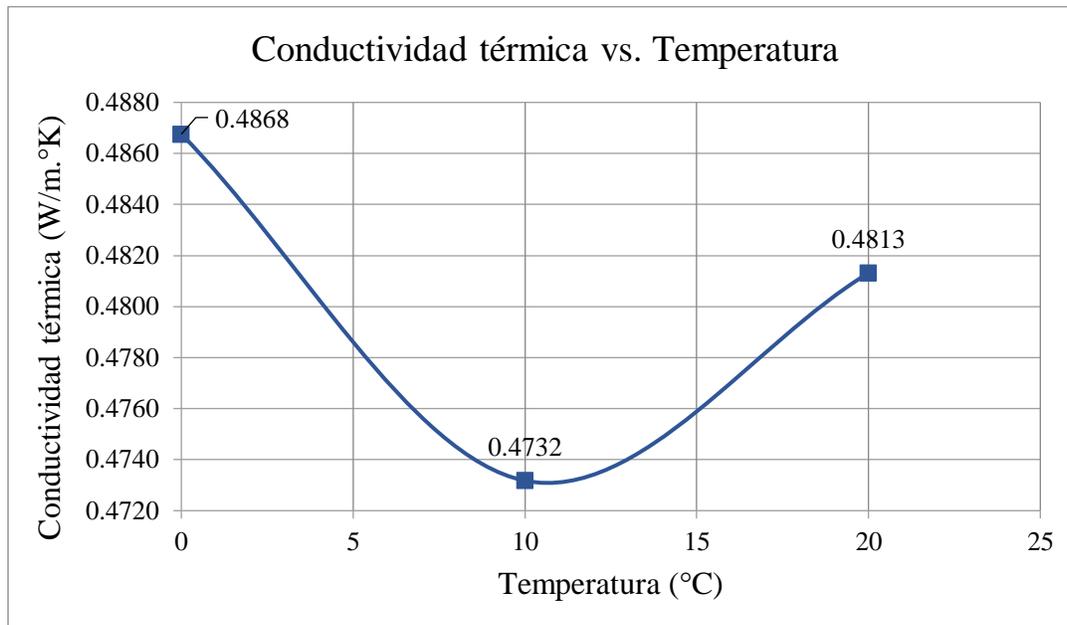
Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 02

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CPAT02	25.12	5.0	-5.0	0.0	0.4896
CPAT02	25.12	5.0	-5.0	0.0	0.4867
CPAT02	25.12	5.0	-5.0	0.0	0.4839
CPAT02	25.12	15.0	5.0	10.0	0.4710
CPAT02	25.12	15.0	5.0	10.0	0.4743
CPAT02	25.12	15.0	5.0	10.0	0.4742
CPAT02	25.12	25.0	15.0	20.0	0.4808
CPAT02	25.12	25.0	15.0	20.0	0.4815
CPAT02	25.12	25.0	15.0	20.0	0.4817

Nota. Se tienen tres mediciones para cada temperatura de ensayo. Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 52

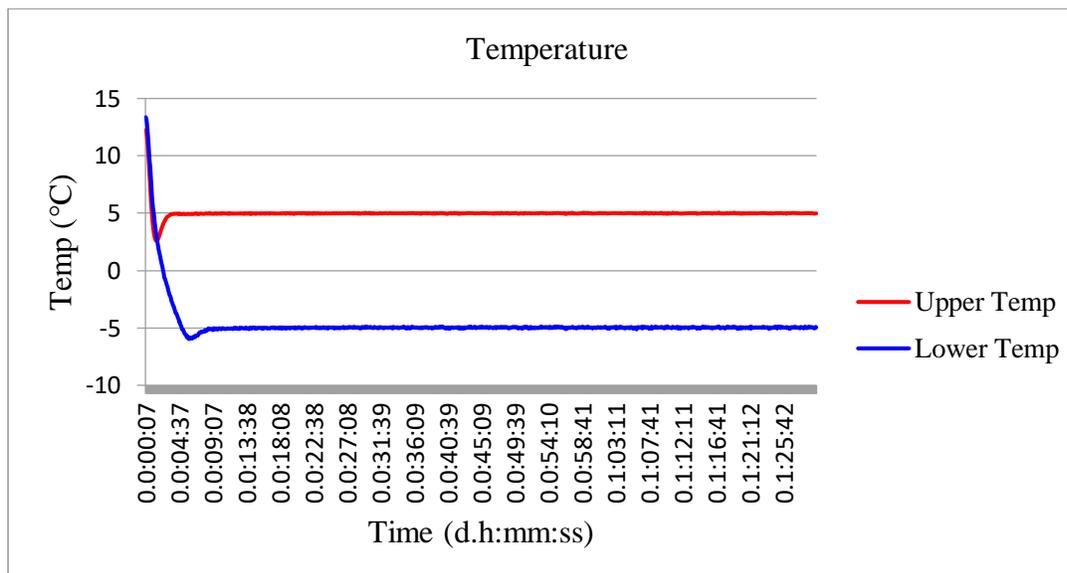
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 02



Nota. El valor más bajo se obtiene a la temperatura de 10°C. Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 53

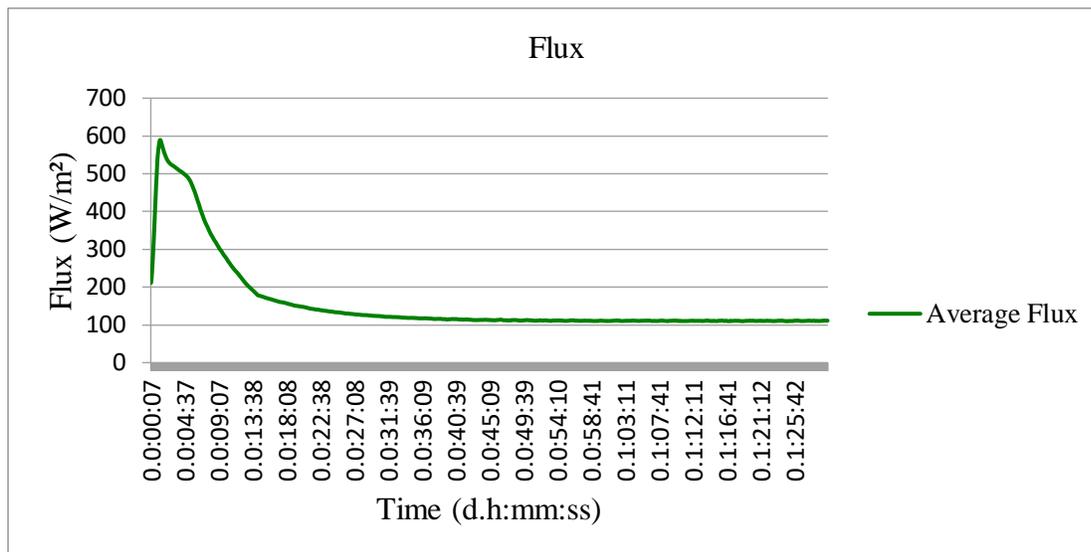
Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 02



Nota. La temperaturas superior e inferior alcanzan valores aproximadamente constantes durante la medición. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 54**

*Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 02*



*Nota.* El flujo de calor alcanza un valor constante durante el ensayo. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 91**

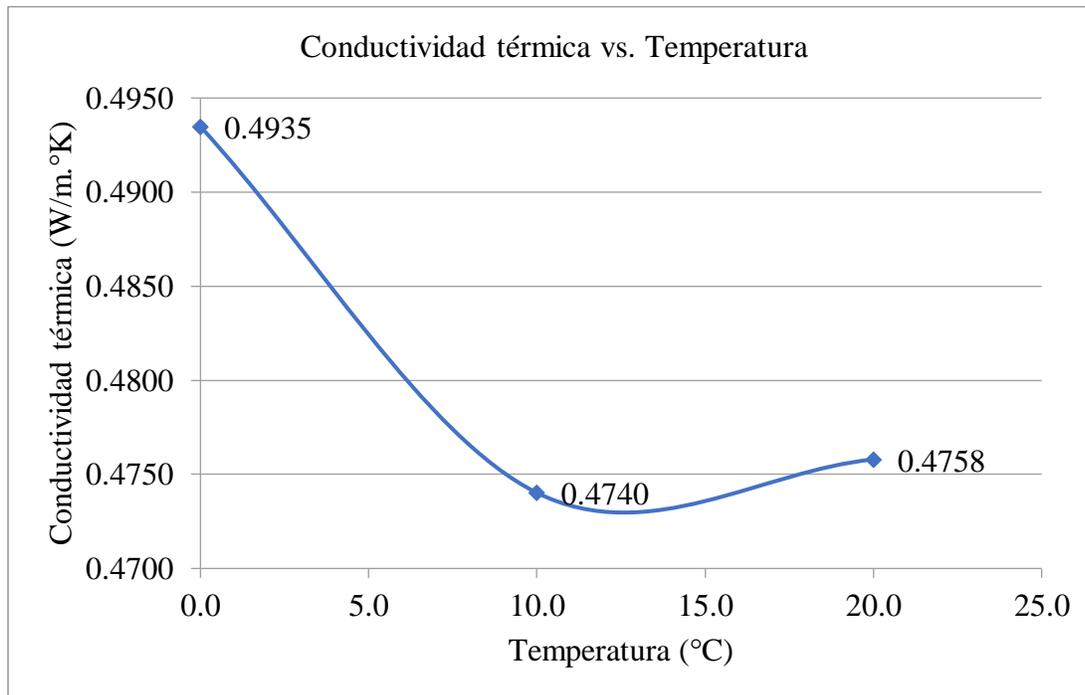
*Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 03*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CPAT03	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4950
CPAT03	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4946
CPAT03	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4909
CPAT03	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4726
CPAT03	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4748
CPAT03	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4747
CPAT03	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4749
CPAT03	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4762
CPAT03	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4762

*Nota.* Se obtienen tres mediciones por cada temperatura de ensayo. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 55**

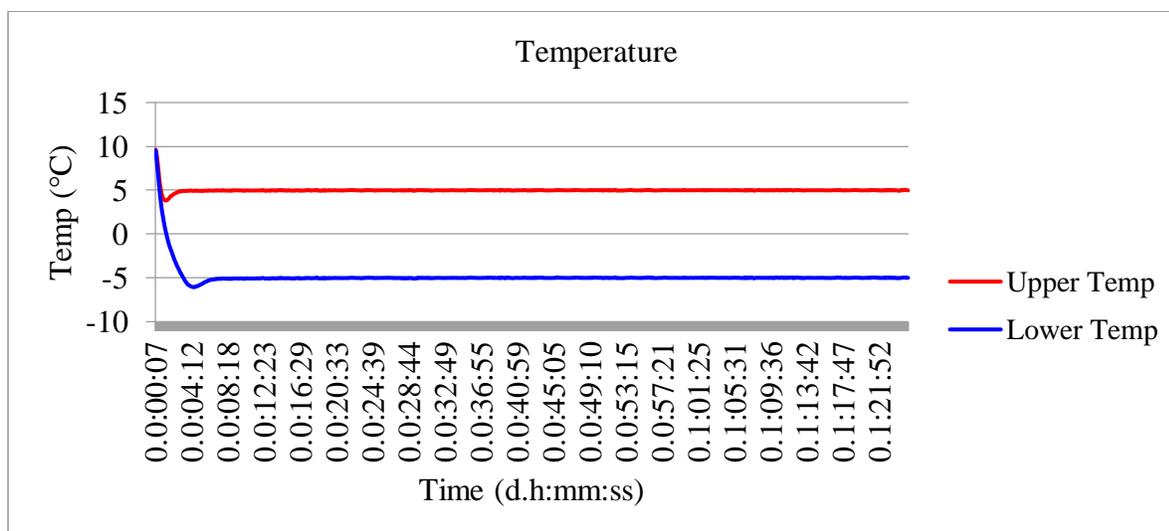
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 03



Nota. El valor más bajo se obtuvo a los 10°C. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 56**

Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 03

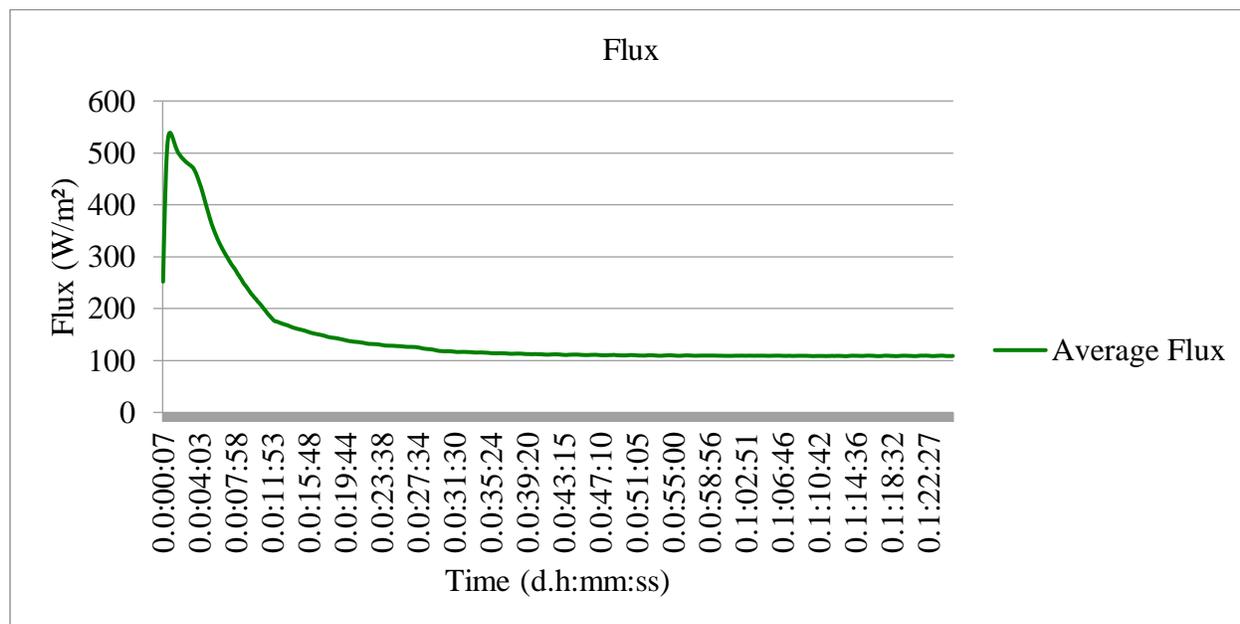


Nota. El grafico muestra las temperaturas superior e inferior constantes durante la medición.

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 57**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 03



Nota. La grafica muestra el diagrama de flujo de calor. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 92**

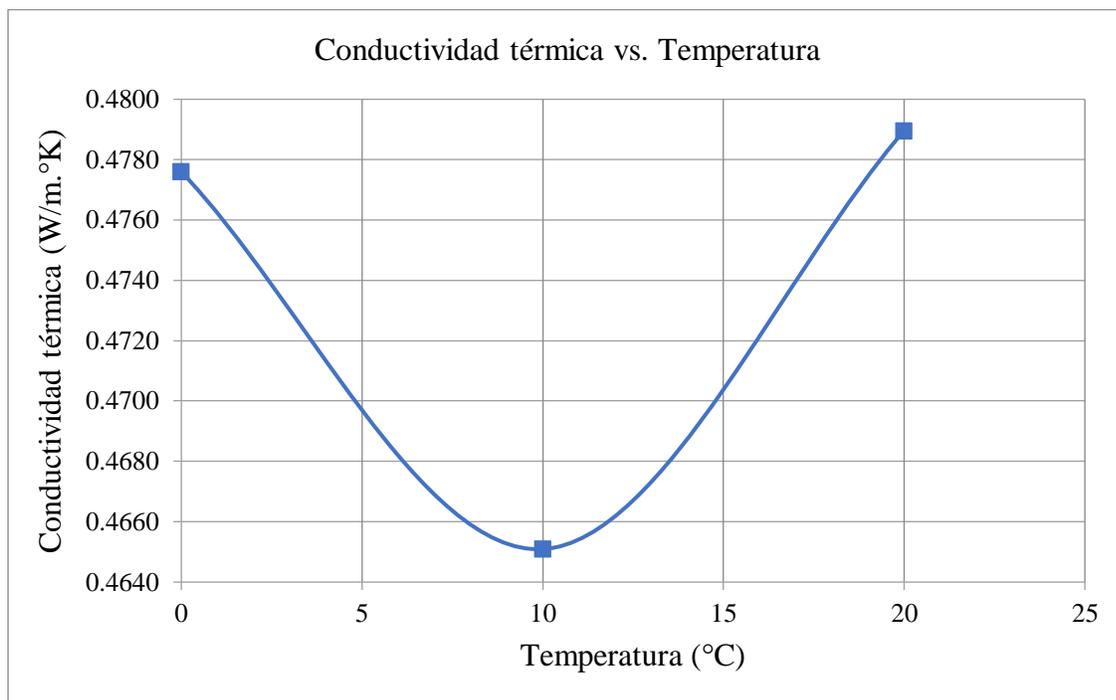
Valores de conductividad térmica para la muestra CPAT 04

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CPAT04	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4794
CPAT04	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4775
CPAT04	25.07	5.0	-5.0	0.0	0.4758
CPAT04	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4613
CPAT04	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4667
CPAT04	25.07	15.0	5.0	10.0	0.4673
CPAT04	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4775
CPAT04	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4794
CPAT04	25.07	25.0	15.0	20.0	0.4800

Nota. Se realizan tres mediciones para cada temperatura de ensayo. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 58**

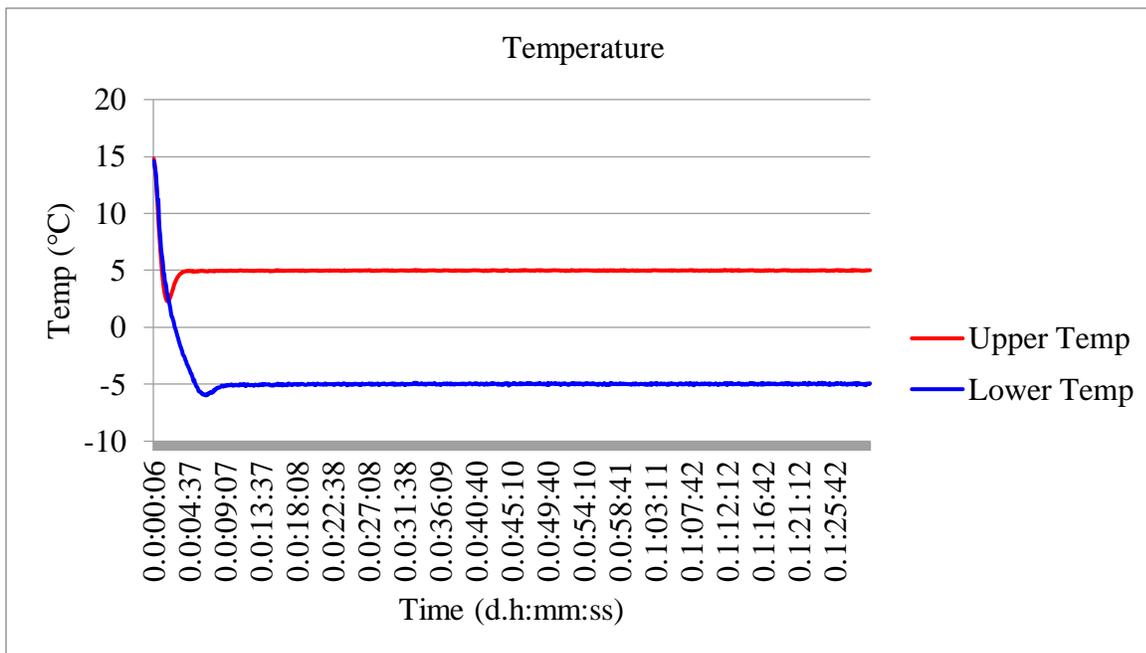
*Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CPAT 04*



*Nota.* El valor más bajo se obtuvo a los 10°C. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 59**

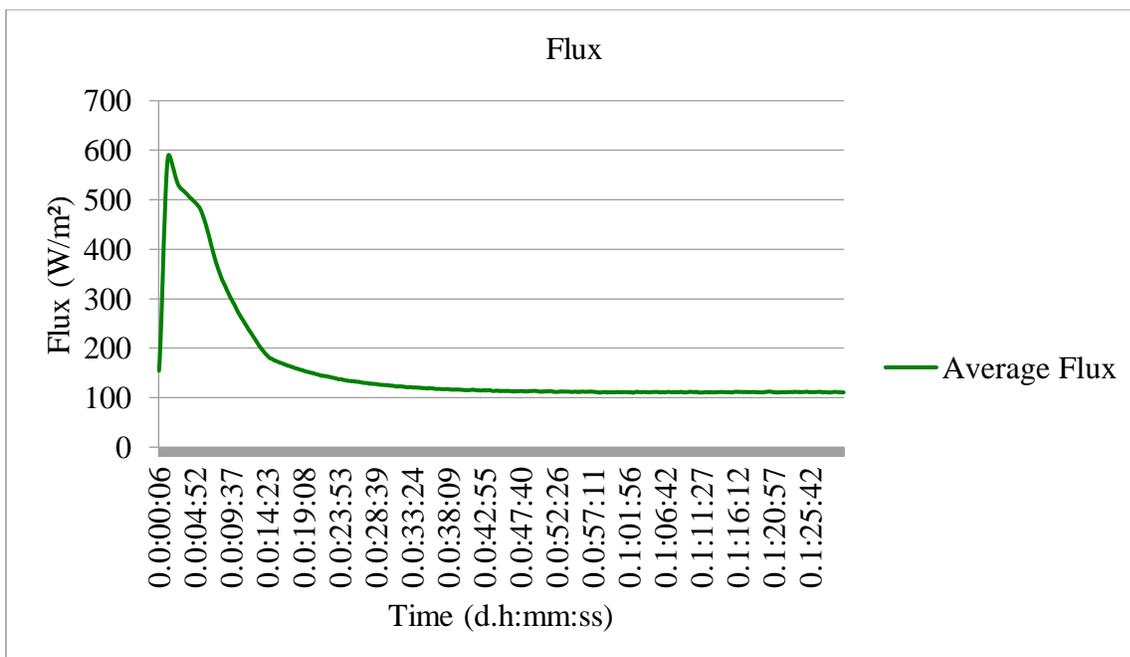
Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CPAT 04



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 60**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CPAT 04



Nota. El flujo de calor alcanza un valor constante durante el ensayo. Fuente: Elaboración propia

### ***Resultados de la Conductividad Térmica del Concreto con Arcilla Térmicamente Expandida***

Los resultados obtenidos para el concreto con arcilla térmicamente expandida muestran que el menor valor promedio para el coeficiente de conductividad térmica es de 0.278 W/m.K° determinado para la muestra CATE02 y el mayor valor promedio es de 0.309 W/m.K° que corresponde a la muestra CATE03.

#### ***Tabla 93***

*Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 01*

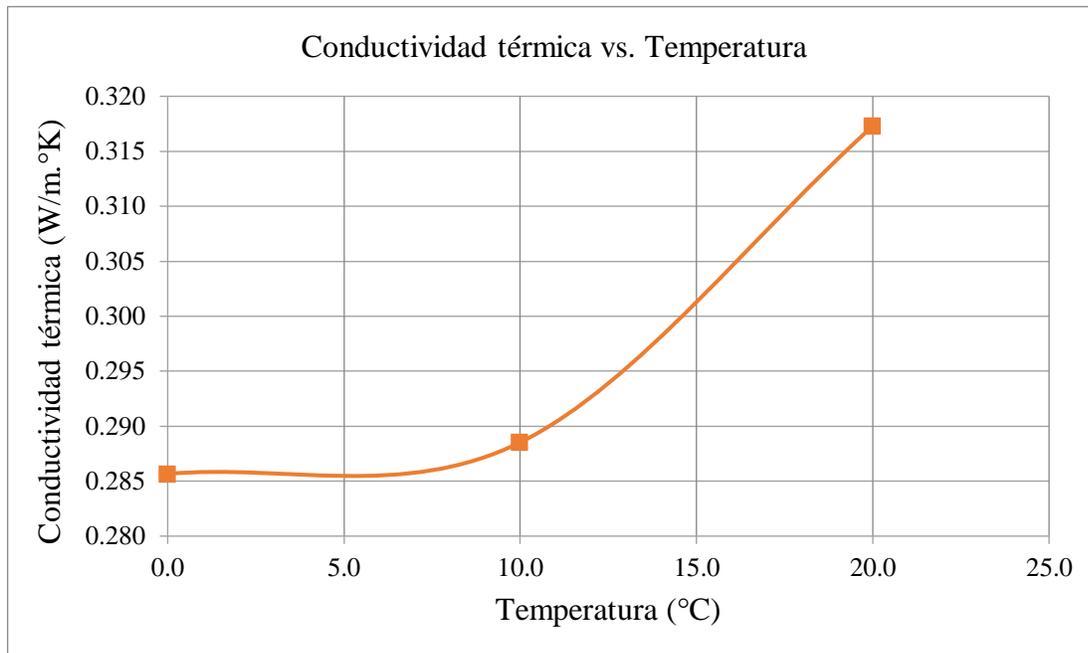
Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CATE01	25.84	5.0	-5.0	0.0	0.2847
CATE01	25.84	5.0	-5.0	0.0	0.2859
CATE01	25.84	5.0	-5.0	0.0	0.2864
CATE01	25.84	15.0	5.0	10.0	0.2895
CATE01	25.84	15.0	5.0	10.0	0.2882
CATE01	25.84	15.0	5.0	10.0	0.2879
CATE01	25.84	25.0	15.0	20.0	0.3188
CATE01	25.84	25.0	15.0	20.0	0.3166
CATE01	25.84	25.0	15.0	20.0	0.3164

*Nota.* Se realizaron tres mediciones para cada temperatura media de ensayo.

Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 61

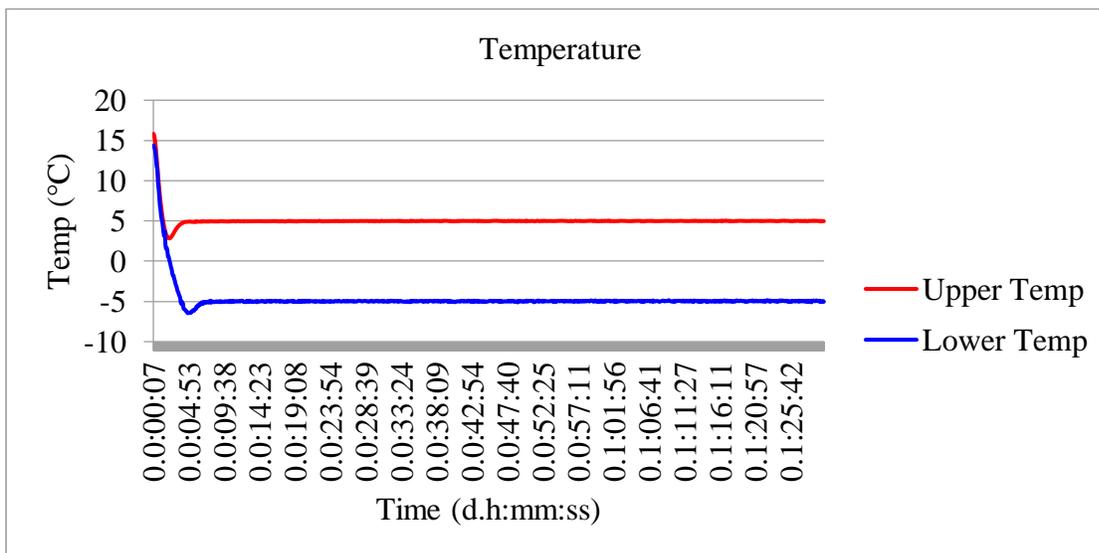
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 01



Nota. El valor más bajo se obtuvo a la temperatura media de 0°C. Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 62

Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 01

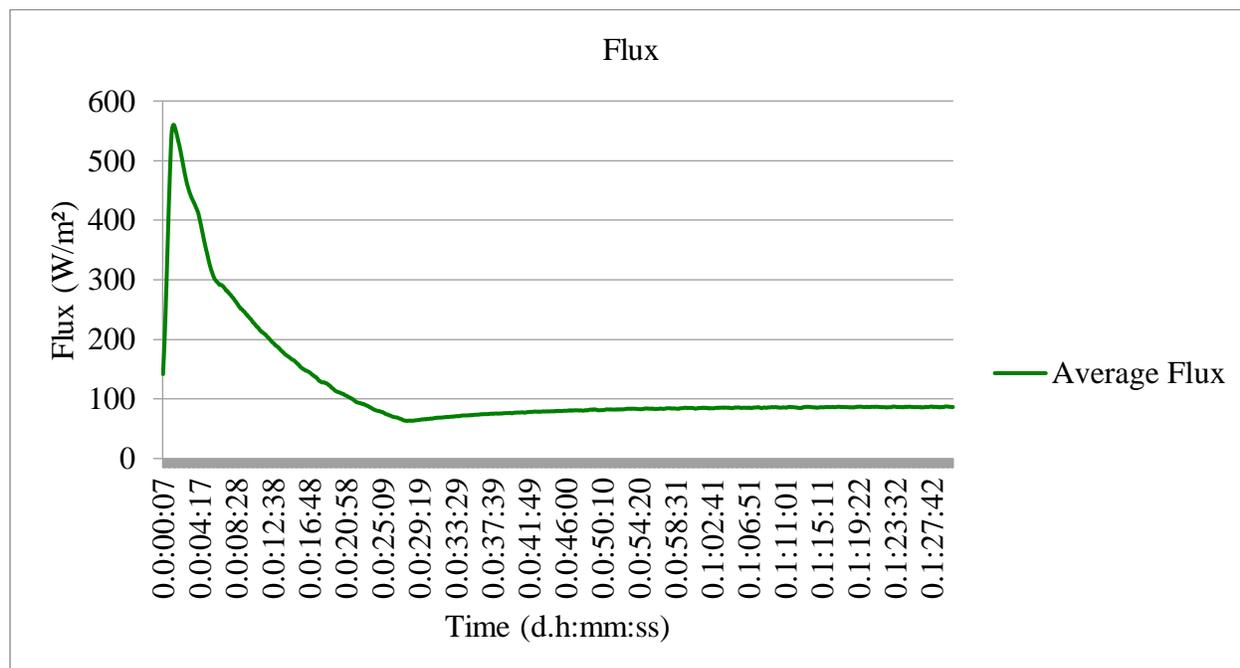


Nota. La grafica muestra las temperaturas constantes durante la medición.

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 63**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 01



Nota. El flujo de calor alcanza un valor aproximadamente constante. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 94**

Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 02

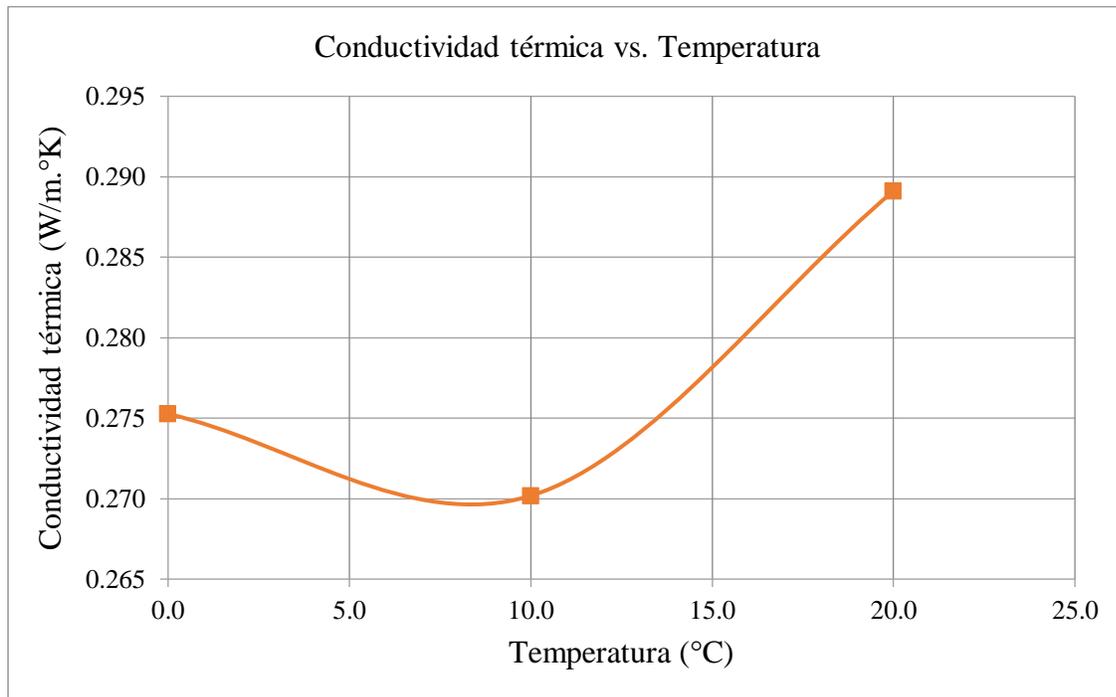
Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CATE 02	24.96	5.0	-5.0	0.0	0.2753
CATE 02	24.96	5.0	-5.0	0.0	0.2754
CATE 02	24.96	5.0	-5.0	0.0	0.2751
CATE 02	24.96	15.0	5.0	10.0	0.2712
CATE 02	24.96	15.0	5.0	10.0	0.2697
CATE 02	24.96	15.0	5.0	10.0	0.2697
CATE 02	24.96	25.0	15.0	20.0	0.2894
CATE 02	24.96	25.0	15.0	20.0	0.2890
CATE 02	24.96	25.0	15.0	20.0	0.2890

Nota. Se realizaron tres mediciones en cada temperatura media de ensayo.

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 64**

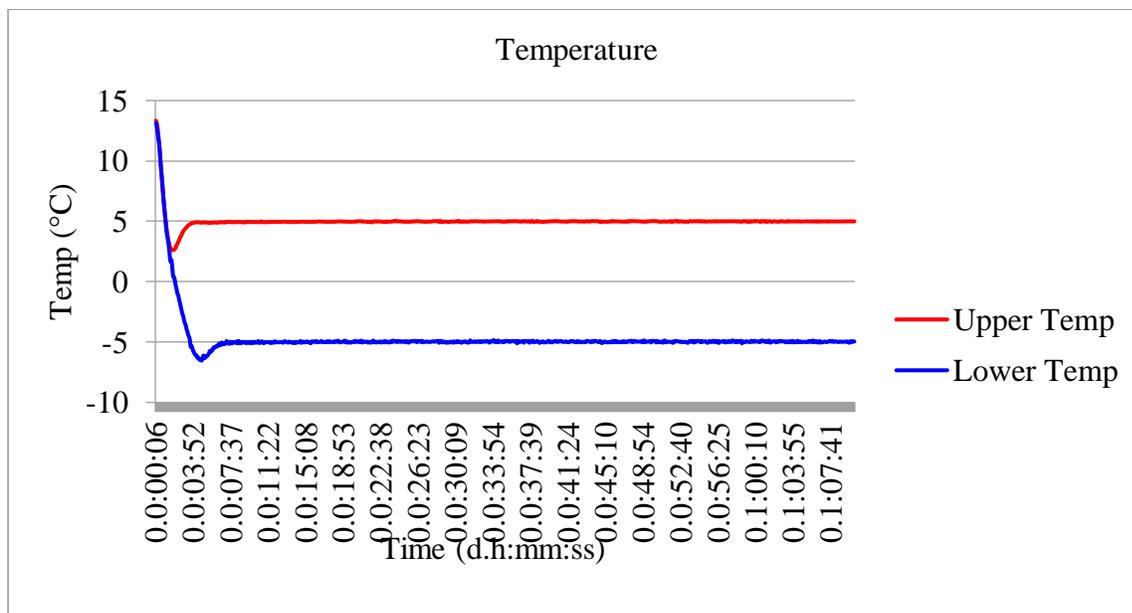
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 02



Nota. El valor más bajo se obtuvo a los 10°C. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 65**

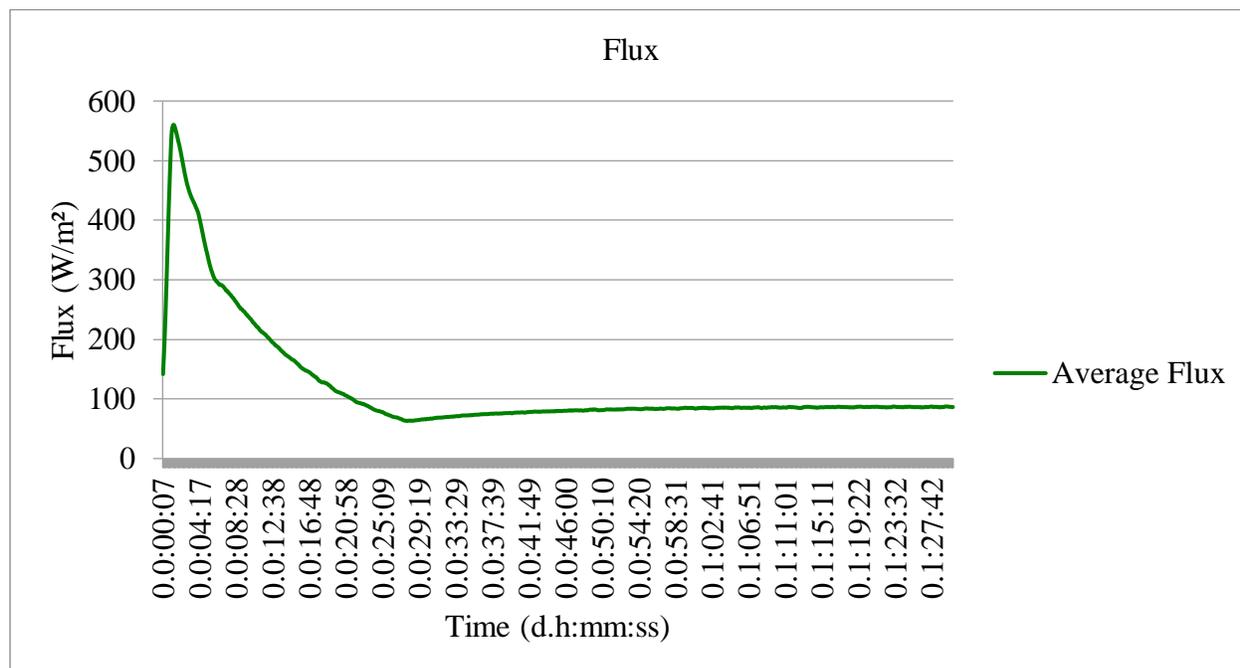
Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 02



Nota. Se muestra el diagrama de las temperaturas superior e inferior. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 66**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 02



Nota. El flujo de calor alcanza un valor constante durante la medición. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 95**

Valores de conductividad térmica para la muestra CATE 03

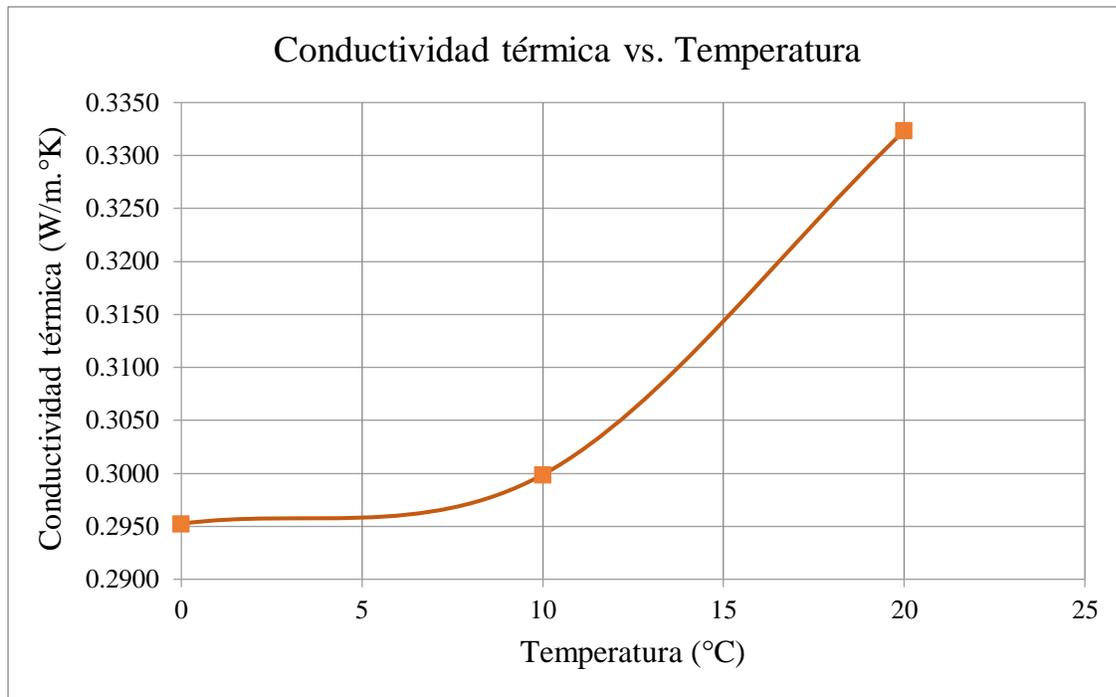
Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura superior (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura media (°C)	Conductividad térmica (W/m.°K)
CATE03	25.8	5.0	-5.0	0.0	0.2937
CATE03	25.8	5.0	-5.0	0.0	0.2954
CATE03	25.8	5.0	-5.0	0.0	0.2966
CATE03	25.8	15.0	5.0	10.0	0.3007
CATE03	25.8	15.0	5.0	10.0	0.2994
CATE03	25.8	15.0	5.0	10.0	0.2995
CATE03	25.8	25.0	15.0	20.0	0.3332
CATE03	25.8	25.0	15.0	20.0	0.3318
CATE03	25.8	25.0	15.0	20.0	0.3320

Nota. Se realizaron tres mediciones en cada temperatura media de ensayo.

Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 67

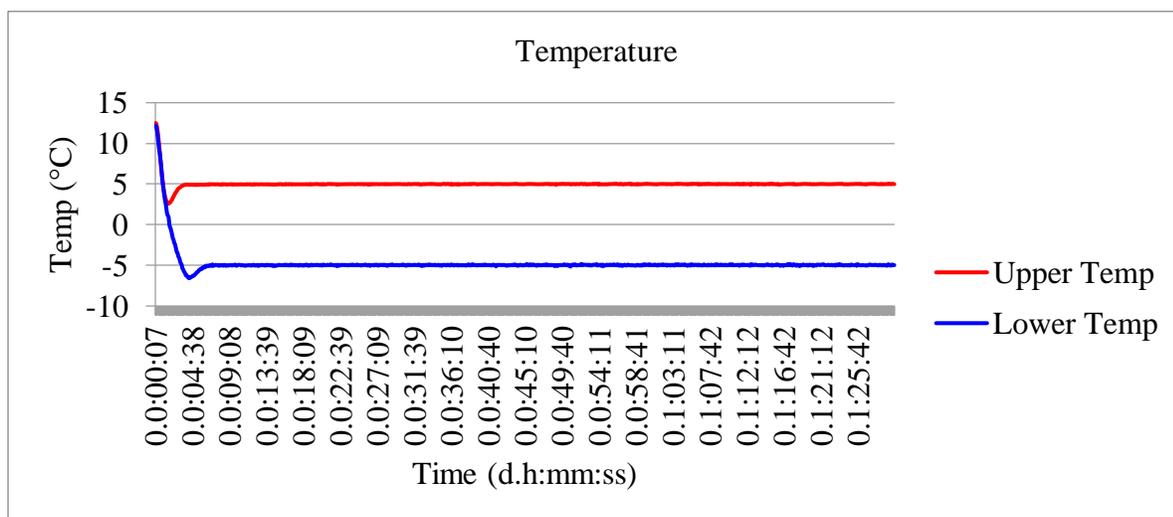
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 03



Nota. El valor más bajo se obtuvo a los 0°C. Fuente: Elaboración propia

### Gráfica 68

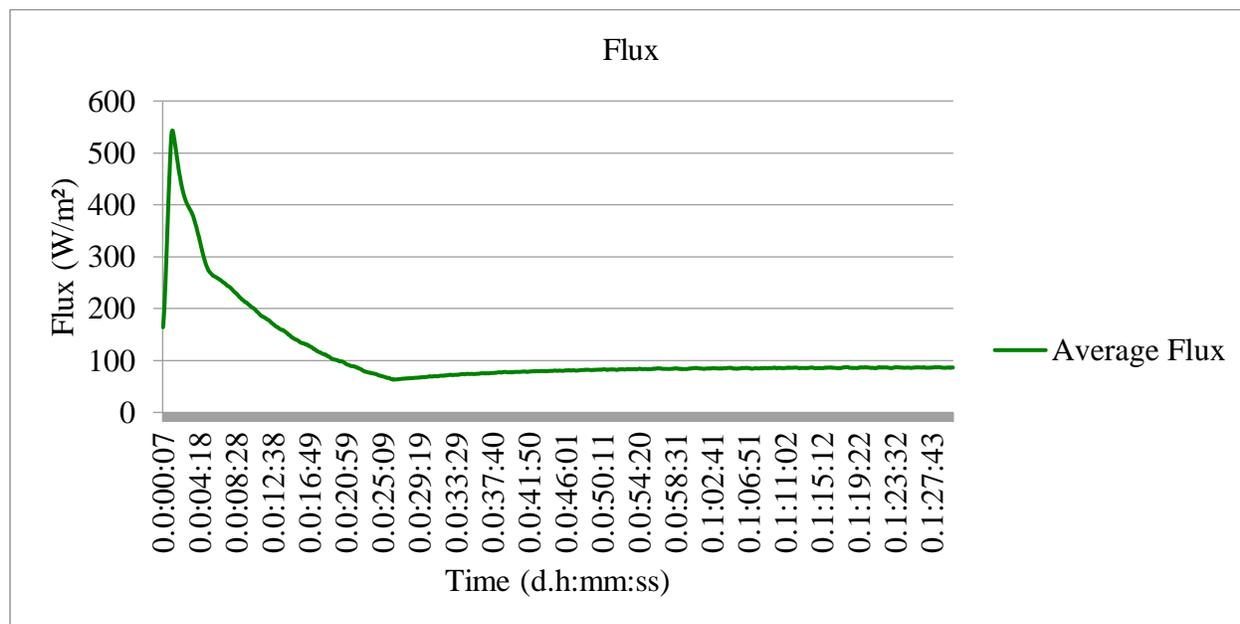
Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 03



Nota. Se muestra el diagrama de las temperaturas superior e inferior. Fuente: Elaboración propia

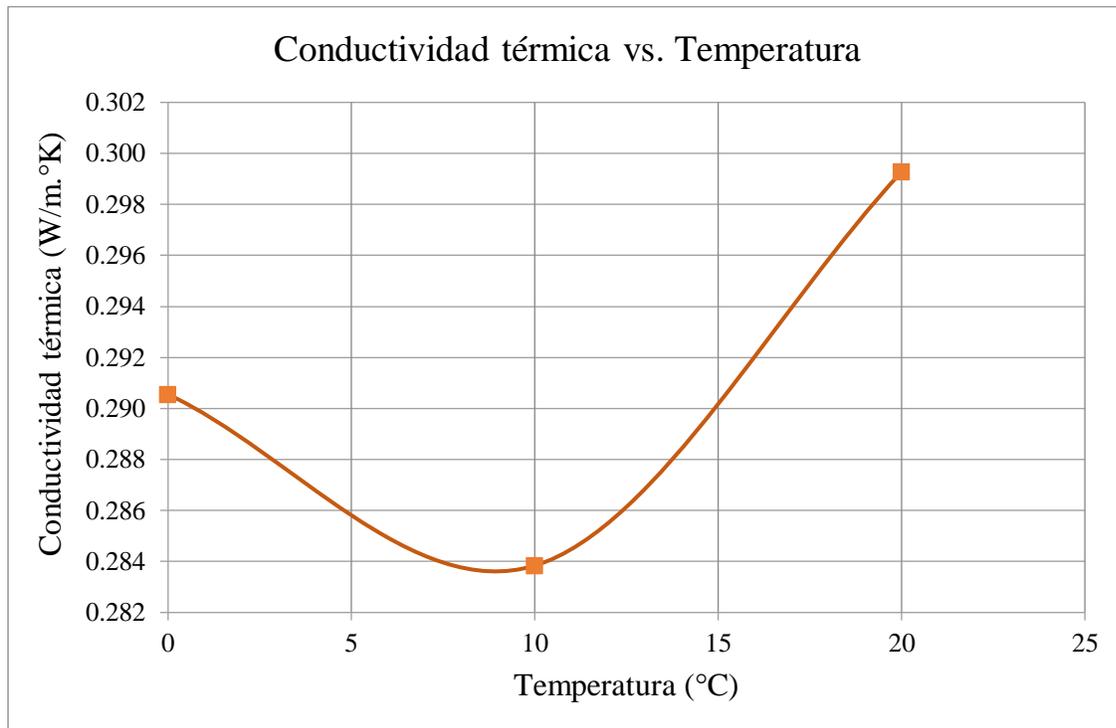
**Gráfica 69**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 03



**Gráfica 70**

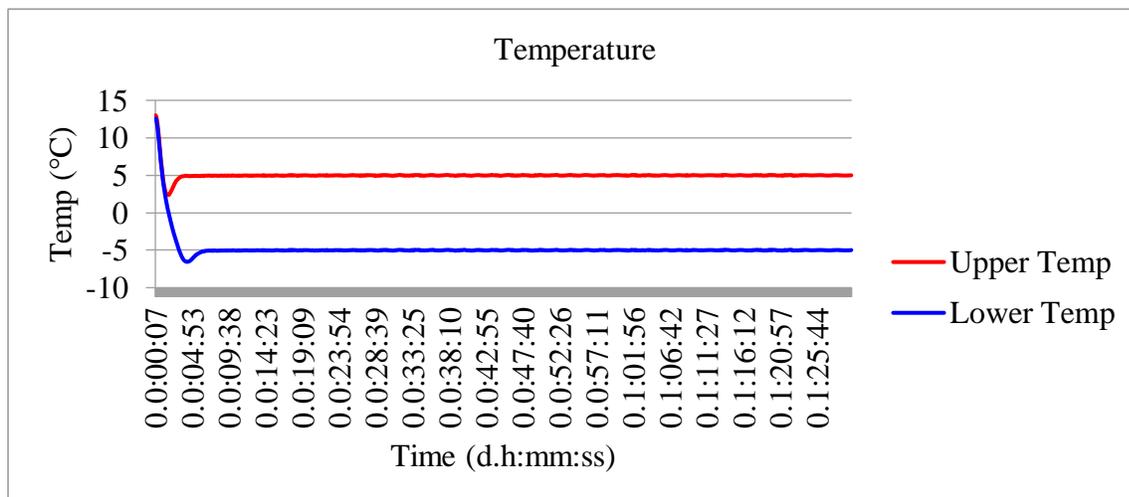
Diagrama conductividad térmica vs. Temperatura para la muestra CATE 04



Nota. El valor más bajo se obtuvo a los 10°C. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 71**

Diagrama de temperatura en el tiempo para la muestra CATE 04

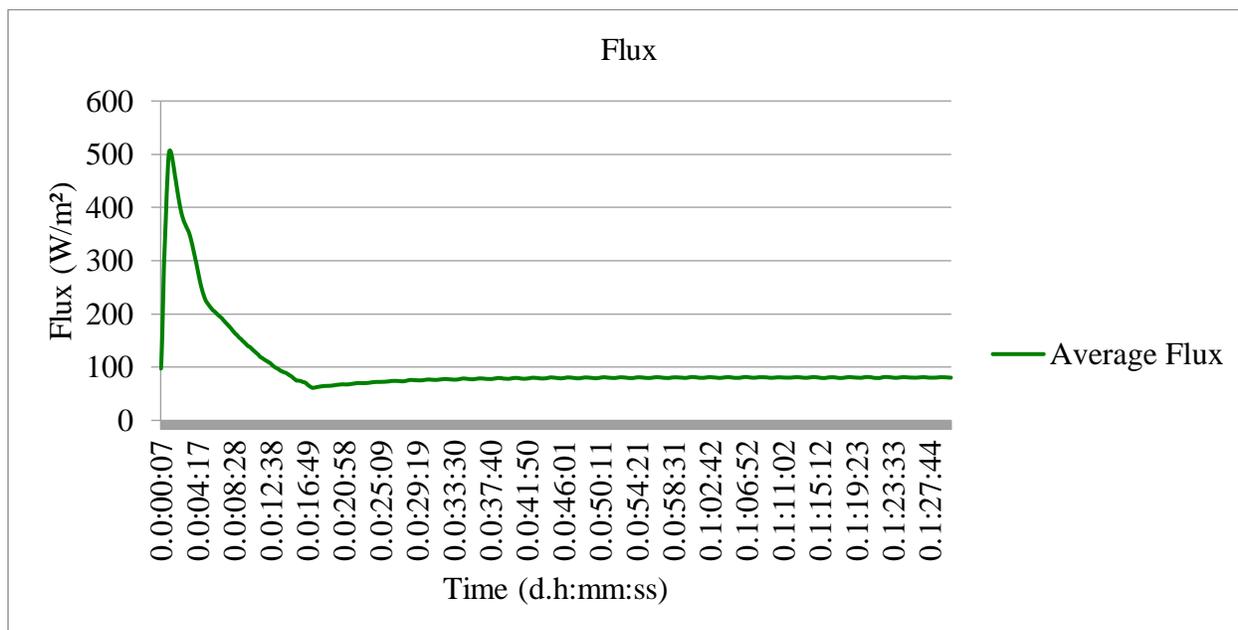


Nota. La grafica muestra el diagrama de las temperaturas superior e inferior.

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 72**

Diagrama de flujo de calor promedio para la muestra CATE 04



Nota. El grafico muestra el diagrama de flujo de calor. Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### **Análisis de los Resultados de la Composición Química de las Arcillas y su incidencia en el potencial de expansión térmica de estas**

Como se mencionó en el marco teórico, existen autores que, basados en la experiencia, indican que, si la composición química de la arcilla se encuentra dentro o cerca a sus límites propuestos, tienen alta probabilidad de expandir; mientras que, si se encuentran totalmente fuera, no tienen posibilidades de expandir. En esta investigación, se consideraron los límites propuestos por W. Kalb & E. Wilhelm y se pudo observar que, todas las arcillas se encuentran cerca a estos límites, lo que nos indica que todas las arcillas pueden expandir, es por ello que se realizaron las pruebas de expansión térmica a altas temperaturas a cada una de ellas.

Al analizar los resultados de la prueba de expansión de las arcillas a altas temperaturas, se observó que, la arcilla de Huayanay tuvo una contracción máxima de 36.97% a la temperatura de 1221°C y presentó una contracción menor de 35.84% a la temperatura de 1255°C, lo cual se interpreta como una ligera expansión respecto a su temperatura anterior. Además, presentó la formación de una ligera capa negra en su interior.

Por otro lado, se observó que la única arcilla que presentó cambios volumétricos positivos fue la arcilla negra de Sicuani, su expansión máxima fue de 97.99% a la temperatura aproximada de 1255°C, donde su densidad disminuyó a 918 kg/m<sup>3</sup>; sin embargo, se puede observar una cierta contracción a la temperatura de 1148°C.

Al realizar la clasificación de suelos de las muestras estudiadas se tuvo que, dos de las muestras (arcilla de Sicuani y Huayanay) corresponden a arcillas de alta plasticidad (CH), estas mismas son las arcillas que presentaron capa interna de color negro, característica que advierte la formación de arcilla térmicamente expandida

### **Análisis de la elección de arcilla para la elaboración de arcilla térmicamente expandida**

La arcilla de Huayanay empieza a expandir a la temperatura de 1255°C, mientras que la arcilla de Sicuani, a esta temperatura, ya posee un aumento del 97.99% de su volumen, por lo que, se escogió la arcilla de Sicuani para la elaboración de arcilla térmicamente expandida.

Adicionalmente, la arcilla de Sicuani se sometió a una prueba de expansión en el horno a leña que se utilizó para la elaboración de la arcilla térmicamente expandida necesaria para evaluar su comportamiento como agregado grueso en el concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ . Esta prueba fue a una temperatura aproximada de 1280°C y se observó que la muestra expandió mucho más, sin embargo, no se pudo determinar el volumen de esta, debido a las deformidades que presentaba; la densidad de la arcilla expandida a esta temperatura era muy baja, pero su dureza también lo era, razón por la cual, no era conveniente para el objetivo de esta investigación. Es así que, la temperatura promedio de calcinación elegida fue la de 1250°C.

La densidad aproximada que se obtuvo en la prueba de expansión térmica en el horno mufla eléctrico a una temperatura aproximada de 1250°C fue de 918kg/m<sup>3</sup>; sin embargo, la densidad de la arcilla expandida que se obtuvo en el horno a leña a aproximadamente la misma temperatura fue de 839 kg/m<sup>3</sup>, se puede atribuir este resultado a la diferencia de temperaturas existentes en las diferentes placas cerámicas del horno estático a leña.

### **Análisis de los resultados del asentamiento de la mezcla de concreto**

Al sustituir totalmente el agregado grueso convencional (Piedra chancada de la cantera de Vicho) por arcilla térmicamente expandida (ATE) elaborada en la región de Cusco, se observó una disminución del 18.75% en el asentamiento o slump del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , teniendo un slump de 3.2" para el concreto patrón y un slump de 2.6" para el concreto con ATE. Se debe

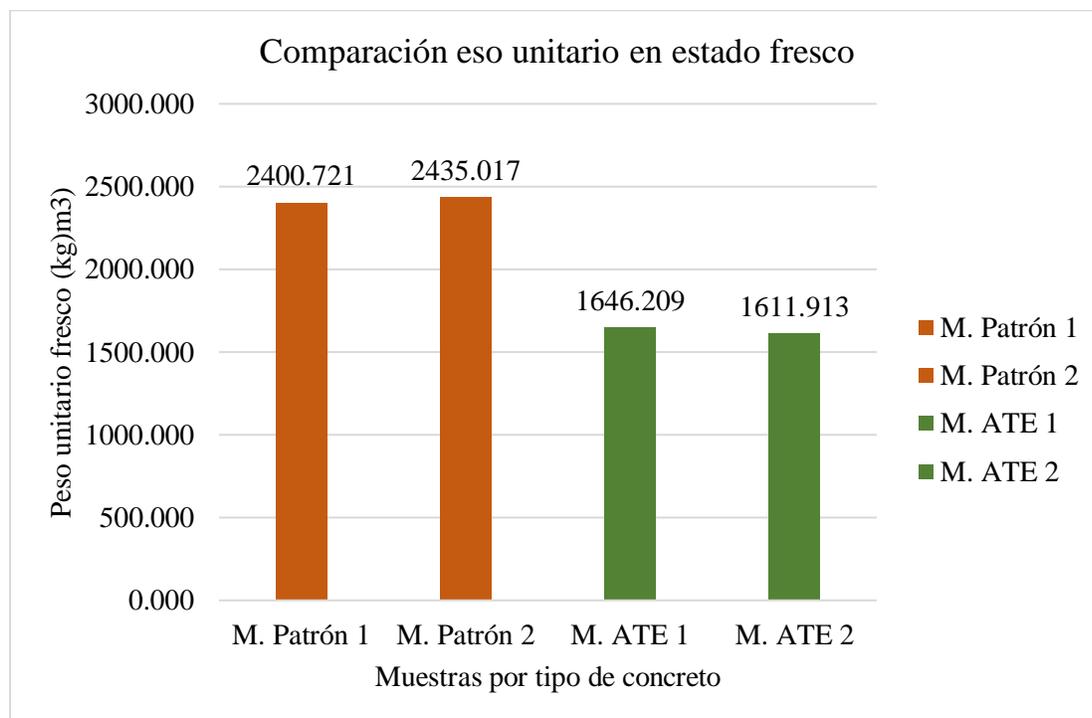
mencionar que, no se pudieron evitar ciertas cangrejeras en los testigos cilíndricos, debido a la poca trabajabilidad que existía en el concreto con ATE.

### **Análisis de resultados del peso unitario en estado fresco del concreto**

El peso unitario en estado fresco del concreto patrón fue de 2417.87 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el del concreto con arcilla térmicamente expandida fue de 1629.06 kg/m<sup>3</sup>, logrando así una disminución del 32.62%. Cabe recalcar que, se trabajó con arcilla expandida de densidad 839 kg/m<sup>3</sup>; sin embargo, se puede elaborar arcilla expandida de densidades mucho más bajas, esto depende del uso que se le vaya a dar.

#### **Gráfica 73**

*Comparativa de peso unitario fresco entre ambos tipos de concreto*



*Nota.* Las muestras con arcilla térmicamente expandida son aproximadamente 32.62% más ligeras que las muestras del concreto patrón. Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis de los resultados de Resistencia a la Compresión**

La resistencia requerida a los 28 días de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> se estima que debe ser aproximadamente el 99% de la resistencia de diseño, quiere decir que debe alcanzar una resistencia aproximada de 208 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.

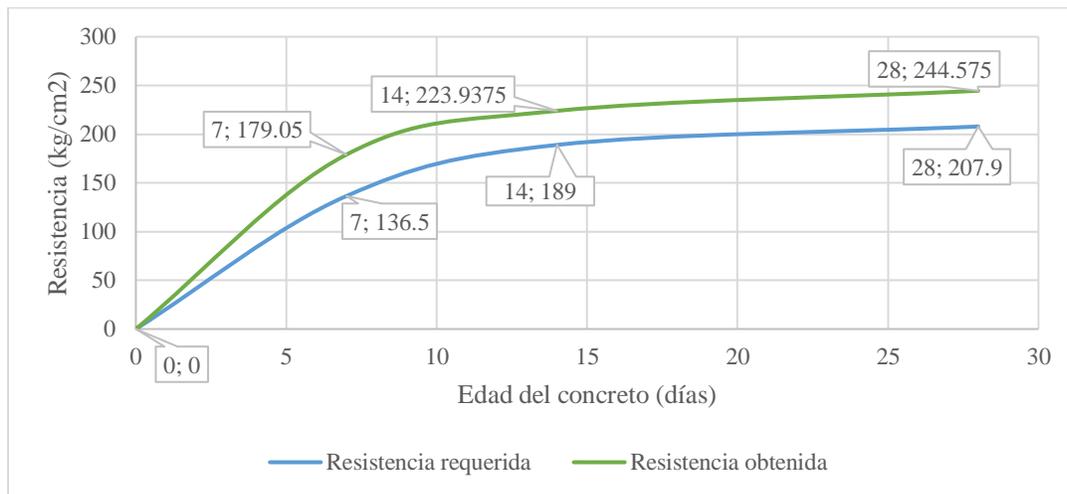
Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión para el concreto patrón elaborado con agregado fino de la cantera de Cunyac y piedra chancada de la cantera de vicho, tomando los parámetros y proporciones definidas en el diseño de mezcla por el método ACI 211, muestran que la resistencia cumple con el diseño para un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo un promedio de 244.58 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a los 28 días, lo que indica que el diseño es correcto.

Los resultados obtenidos para la arcilla térmicamente expandida muestran que también cumple con el diseño para un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, el promedio de la resistencia obtenida a los 28 días es de 211.59 kg /cm<sup>2</sup>, lo que indica una reducción del 13.49% de la resistencia en comparación con lo obtenido del concreto patrón.

Este resultado se debe a la diferencia de dureza característica de cada tipo de agregado, la arcilla térmicamente expandida elaborada disminuye su dureza en función a su densidad, mientras menor es el valor de su densidad menor es su dureza, en el presente estudio se utilizó material con 839.12 kg/m<sup>3</sup> de densidad, lo que implica que tiene una dureza media, ya que es posible elaborar este material con densidades entre 1200 kg/m<sup>3</sup> y 400 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente. Esto afecta directamente en la resistencia del concreto, sin embargo, en este estudio en específico, al sustituir completamente el agregado grueso con este material se logró cumplir con la resistencia requerida.

### Gráfica 74

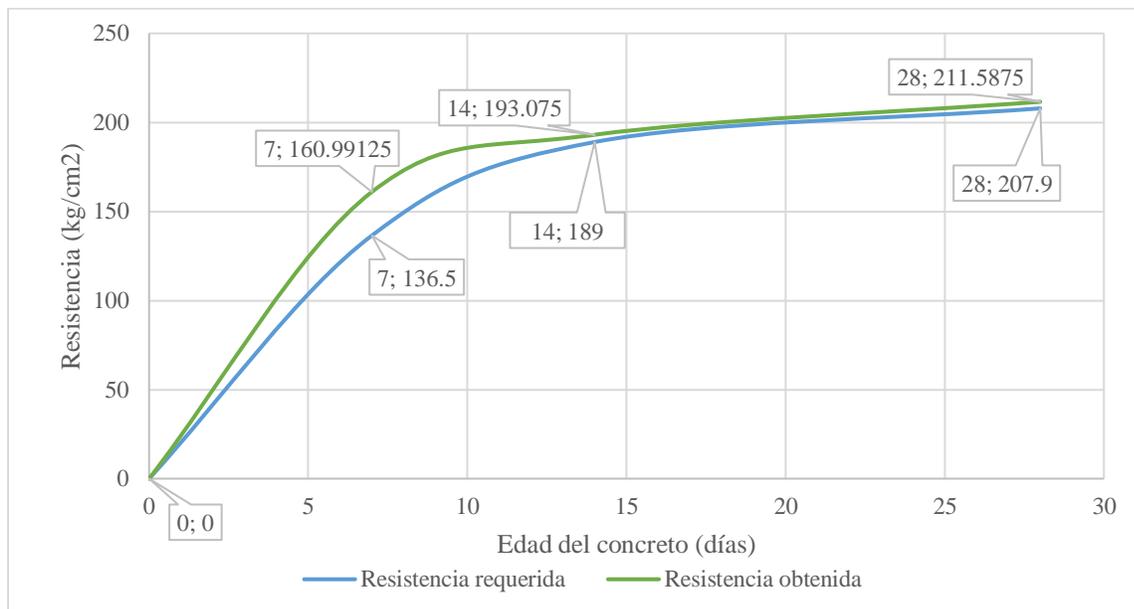
*Evolución de la resistencia a la compresión del concreto con piedra chancada*



*Nota.* Se puede observar que el incremento de la resistencia siempre está por encima de la resistencia requerida. Fuente: Elaboración propia.

### Gráfica 75

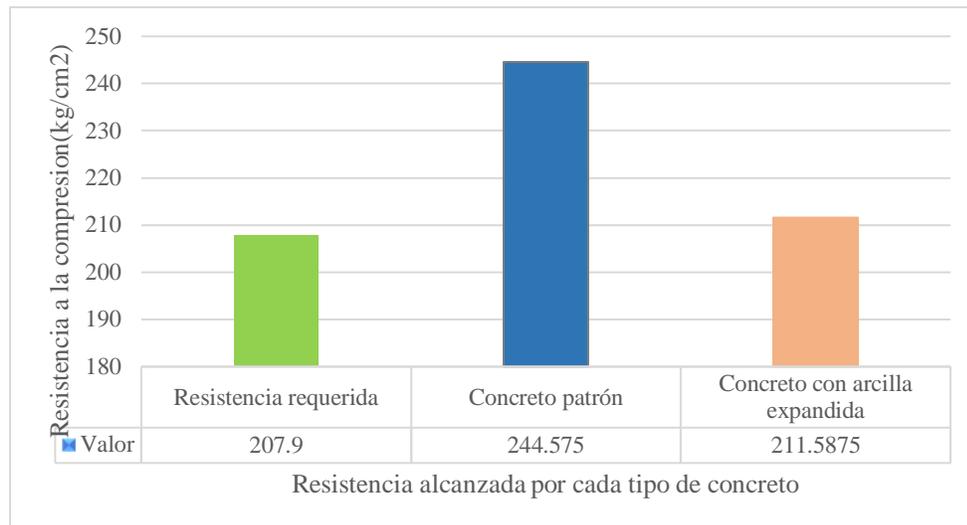
*Evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla térmicamente expandida*



*Nota.* Se puede observar que el incremento de la resistencia siempre está por encima de la resistencia requerida, la ventaja es mayor a los siete días, sin embargo, llega a cumplir con resistencia requerida a los 28 días. Fuente: Elaboración propia.

## Gráfica 76

*Comparativa de las resistencias obtenidas y la resistencia requerida*



*Nota.* Ambos tipos de concreto cumplen con la resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de diseño.

Fuente: Elaboración propia

En contraste con los antecedentes descritos, de los cuales en el estudio de (Albán y Utreras, 2020) respecto a la incidencia del uso de arcilla expandida al elaborar hormigón alivianado, se observó una disminución del 24.5% en la resistencia a la compresión del concreto al sustituir en un 30% al agregado fino al trabajar con una relación agua/cemento de 0.53.

En la investigación de (Baquero et al., 2019) acerca del análisis de arcilla expandida y piedra pómez como sustituto de los agregados en la elaboración de concreto ligero para la Revista de Ingeniería y Desarrollo se observó una disminución de 12.6% en la resistencia a la compresión del concreto utilizando arcilla térmicamente expandida en estado saturado superficialmente seco y una disminución del 30% en resistencia a la compresión del concreto con arcilla térmicamente expandida en estado seco.

En la tesis de pregrado de (Quispe y Vera, 2018) sobre la utilización de la arcilla expandida como agregado grueso en concreto estructural liviano se tuvieron valores de la resistencia a la compresión entre 21.06 MPa y 36.67 MPa

En la tesis de investigación de (Andrade y Becerra, 2022) acerca de la incidencia de uso de arcilla expandida y aserrín en las propiedades físico mecánicas del concreto utilizado en la construcción de viviendas en Trujillo, La Libertad, se observó una disminución del 22.5% de la resistencia del concreto al utilizar una dosificación de 0.5% de aserrín y 1.5% de arcilla expandida.

### **Análisis de los Resultados de la Conductividad Térmica**

La conductividad térmica se ensayó utilizando el aparato medidor de flujo de calor, para lo cual se elaboraron muestras de 30 cm de ancho, 30 cm de largo y un espesor de una pulgada aproximadamente, que son las dimensiones que recomienda el equipo para la preparación de muestras, se ensayaron cuatro muestras de cada tipo de concreto a las temperaturas medias de 0°C, 10°C y 20°C, con una diferencia de temperatura entre la placa caliente y la placa fría de 10°C para todos los casos. Los resultados obtenidos indican que la conductividad térmica del concreto patrón, como promedio resulta un valor de 0.485 W/m.°K mientras que la conductividad térmica resultante para el concreto elaborado con arcilla térmicamente expandida fue de 0.294 W/m.°K, esto indica una reducción en la conductividad térmica de un 39.44 % aproximadamente lo que demuestra que el concreto elaborado con arcilla térmicamente expandida es mejor aislante que el concreto elaborado con piedra chancada.

Este resultado se debe a la estructura que posee la arcilla expandida, una capa interior porosa y una capa exterior compacta, los poros ayudan en la reducción de la conductividad térmica, lo que hace que este material tenga un mejor aislamiento térmico.

**Tabla 97***Conductividad térmica de muestras del concreto patrón*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CPAT 01	25.18	-5	5	0	110.214	0.515	0.506
	25.18	5	15	10	116.546	0.5	
	25.18	15	25	20	121.2	0.503	
CPAT 02	25.12	-5	5	0	110.832	0.487	0.48
	25.12	5	15	10	117.363	0.473	
	25.12	15	25	20	122.338	0.481	
CPAT 03	25.07	-5	5	0	109.646	0.493	0.481
	25.07	5	15	10	117.625	0.474	
	25.07	15	25	20	122.822	0.476	
CPAT 04	25.02	-5	5	0	111.342	0.478	0.474
	25.02	5	15	10	117.733	0.465	
	25.02	15	25	20	122.447	0.479	

*Nota.* El valor promedio para las muestras de concreto patrón es de 0.485 W/m.°K.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 98***Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida*

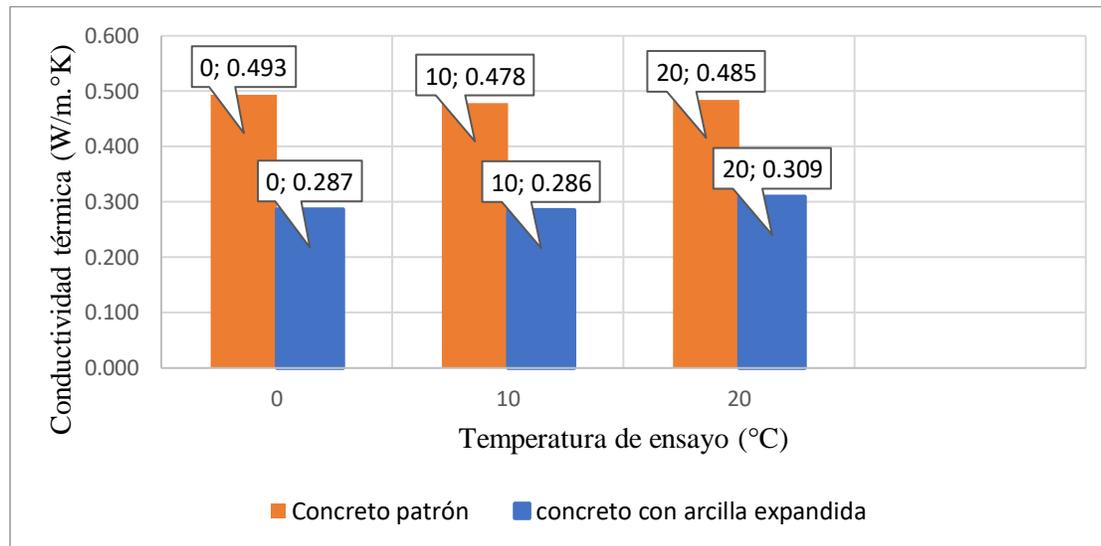
Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CATE 01	25.84	-5	5	0	86.885	0.286	0.297
	25.84	5	15	10	92.513	0.289	
	25.84	15	25	20	96.562	0.317	
CATE 02	24.96	-5	5	0	83.594	0.275	0.278
	24.96	5	15	10	88.000	0.270	
	24.96	15	25	20	91.099	0.289	
CATE 03	25.82	-5	5	0	86.732	0.295	0.309
	25.82	5	15	10	92.165	0.300	
	25.82	15	25	20	96.062	0.332	
CATE 04	25.12	-5	5	0	80.471	0.291	0.291
	25.12	5	15	10	84.824	0.284	
	25.12	15	25	20	89.042	0.299	

*Nota.* El valor promedio para las muestras de concreto patrón es de 0.294 W/m.°K.

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 77**

Conductividad térmica a las temperaturas de 0°C, 10°C y 20°C.



*Nota.* Se observa que la conductividad térmica del concreto con arcilla expandida es menor con diferencia en las tres temperaturas de ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se observa que la conductividad térmica de cada material varía en función de la temperatura, en el caso del concreto patrón, la conductividad térmica más alta en la mayoría de los casos se obtiene al ensayarse a una temperatura media de 0°C, luego de la cual tiende a disminuir al ensayarse a una temperatura de 10°C, y finalmente a los 20°C vuelve a incrementar.

**Tabla 99***Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 0°C*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CPAT 01	25.18	-5	5	0	110.214	0.515	
CPAT 02	25.12	-5	5	0	110.832	0.487	
CPAT 03	25.07	-5	5	0	109.646	0.493	0.493
CPAT 04	25.02	-5	5	0	111.342	0.478	

*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 0°C de ensayo para el concreto patrón fue de 0.493 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 100***Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 10°C*

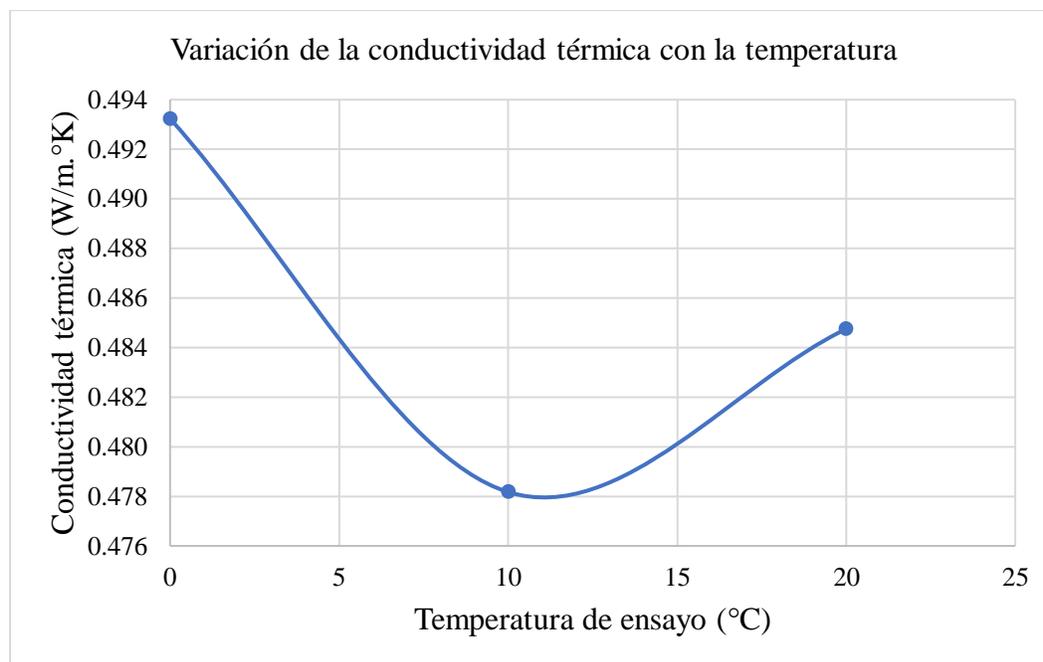
Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CPAT 01	25.18	5	15	10	116.546	0.500	
CPAT 02	25.12	5	15	10	117.363	0.473	
CPAT 03	25.07	5	15	10	117.625	0.474	0.478
CPAT 04	25.02	5	15	10	117.733	0.465	

*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 10°C de ensayo para el concreto patrón fue de 0.478 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 101***Conductividad térmica promedio del concreto patrón a 20°C*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CPAT 01	25.18	15	25	20	121.200	0.503	
CPAT 02	25.12	15	25	20	122.338	0.481	0.485
CPAT 03	25.07	15	25	20	122.822	0.476	
CPAT 04	25.02	15	25	20	122.447	0.479	

*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 20°C de ensayo para el concreto patrón fue de 0.485 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 78***Variación de la conductividad térmica del concreto patrón a 0°C, 10°C y 20°C*

*Nota.* Se observa que el valor promedio más alto se obtiene a 0°C y el más bajo a 10°C.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del concreto con arcilla expandida, en algunos casos la conductividad térmica más baja se obtiene a la temperatura media de 0°C y en otros a los 10°C, pero en todos los casos el valor más alto se obtuvo al ensayar a una temperatura media de 20°C. Todas estas diferencias

no son muy grandes, por lo que es posible obtener un promedio para obtener un valor aproximado y preciso para cada caso.

**Tabla 102**

*Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 0°C*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CATE 01	25.84	-5	5	0	86.885	0.286	
CATE 02	24.96	-5	5	0	83.594	0.275	0.287
CATE 03	25.82	-5	5	0	86.732	0.295	
CATE 04	25.12	-5	5	0	80.471	0.291	

*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 0°C de ensayo para el concreto con arcilla expandida fue de 0.287 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 103**

*Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 10°C*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CATE 01	25.84	5	15	10	92.513	0.289	
CATE 02	24.96	5	15	10	88.000	0.270	0.286
CATE 03	25.82	5	15	10	92.165	0.300	
CATE 04	25.12	5	15	10	84.824	0.284	

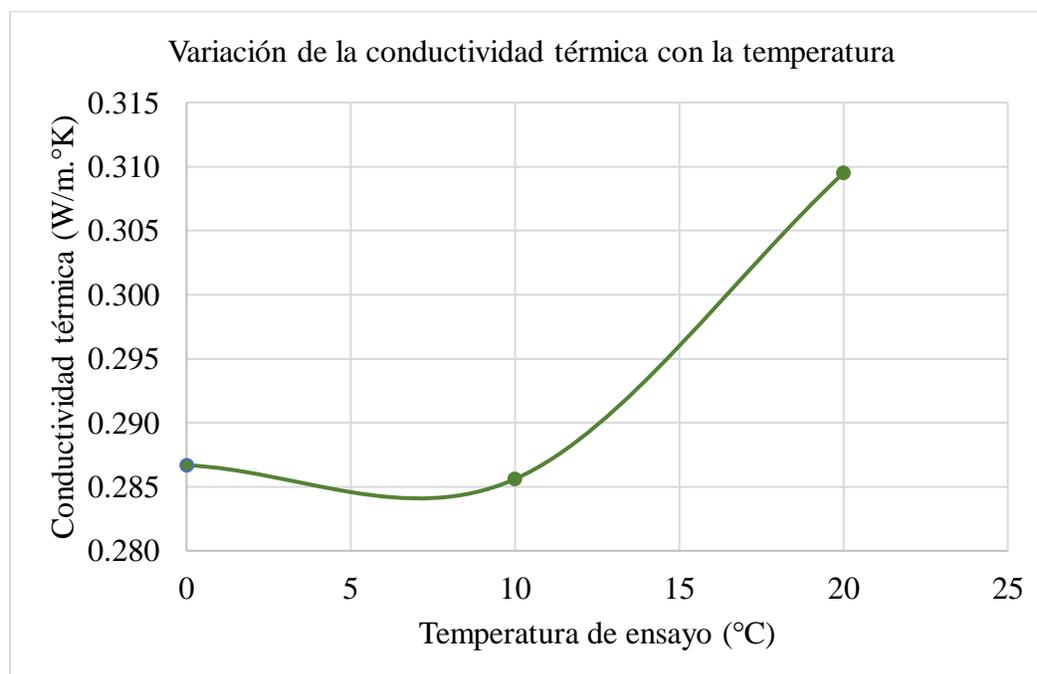
*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 10°C de ensayo para el concreto con arcilla expandida fue de 0.286 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 104***Conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 20°C*

Código de muestra	Espesor (mm)	Temperatura (°C)			Flujo de calor promedio (W/m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (W/m.°K)	Conductividad térmica promedio (W/m.°K)
		Inf.	Sup.	Media			
CATE 01	25.84	15	25	20	96.562	0.317	0.309
CATE 02	24.96	15	25	20	91.099	0.289	
CATE 03	25.82	15	25	20	96.062	0.332	
CATE 04	25.12	15	25	20	89.042	0.299	

*Nota.* La conductividad térmica promedio a los 20°C de ensayo para el concreto con arcilla

expandida fue de 0.309 W/m.°K. Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 79***Variación de la conductividad térmica del concreto con arcilla expandida a 0°C, 10°C y 20°C*

*Nota.* Se observa que la conductividad térmica más baja se obtuvo a la temperatura de 10°C y el valor más alto se obtuvo a los 20°C. Fuente: Elaboración propia

Las muestras de concreto con arcilla expandida, para los especímenes CATE 01 y CATE 03 tienen un comportamiento creciente de su conductividad térmica en función del incremento de temperatura, por otro lado, los especímenes CATE 02 y CATE 04 tienden a disminuir de valor

a los 10°C para luego subir nuevamente. Estas diferencias se pueden deber a la falta de uniformidad en las superficies de los especímenes, lo que genera una desviación en la medición, sin embargo, los resultados promedios de cada uno de los especímenes no difieren significativamente por lo que los valores obtenidos son válidos para el estudio.

### **Análisis de Resultados del costo de 01m<sup>3</sup> de concreto con arcilla térmicamente expandida**

El costo de producción de 01 m<sup>3</sup> de concreto con arcilla térmicamente expandida es de S/ 1 272.51 y el costo de producción de 01 m<sup>3</sup> de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho es de S/ 317.05, teniendo así un incremento del 301.35%; este incremento se debe a que, el costo de producción de 01 m<sup>3</sup> de arcilla térmicamente expandida es de S/ 2 656.35.

El costo de la producción de arcilla térmicamente expandida es elevado, debido a que se realizó de manera artesanal, teniendo como costo más alto el de la mano de obra para los procesos de pelletización, redondeo y sinterización de la arcilla negra, el cual asciende a S/ 2 005.80; sin embargo, este costo puede reducirse considerablemente al mecanizar estos procesos utilizando equipos con la tecnología adecuada.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se logró elaborar arcilla térmicamente expandida utilizando arcilla de Sicuani, Canchis, Cusco y al utilizarla como sustituto total del agregado grueso (Piedra chancada de la cantera Vicho) disminuyó el peso unitario del concreto en 32.62% y disminuyó su resistencia a la compresión en 13.49%. La conductividad térmica obtenida del concreto patrón a la temperatura media de 0°C fue de 0.493 W/m.°K, y el valor obtenido para el concreto con arcilla térmicamente expandida fue de 0.287 W/m.°K, demostrando una disminución del 41.88%. Para el ensayo a temperatura media de 10°C se obtuvo un 0.478 W/m.°K y 0.286 W/m.°K para el concreto patrón y el concreto con arcilla expandida respectivamente, teniendo así una reducción del 40.27 %. Finalmente, a la temperatura media de ensayo de 20°C la conductividad térmica resultante para el concreto patrón fue de 0.485 W/m.°K y para el concreto con arcilla expandida fue de 0.309 W/m.°K representando una reducción del 36.15%. En promedio, la conductividad térmica del concreto con arcilla térmicamente tuvo una reducción del 39.43% con respecto al concreto patrón.

La composición química de las arcillas no determina el potencial de expansión; sin embargo, se puede utilizar de referencia cuando la composición química está totalmente fuera de los límites propuestos.

La temperatura de calcinación, en la cual se obtuvo arcilla expandida ligera y resistente fue la temperatura aproximada de 1250°C.

Al utilizar la arcilla térmicamente expandida elaborada en la región Cusco como sustituto total del agregado grueso (Piedra chancada de la cantera Vicho) disminuyó el peso unitario del

concreto en 32.62%, disminuyó su conductividad térmica en un 39.4% y disminuyó su resistencia a la compresión en 13.49%.

El costo de producción de un m<sup>3</sup> de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida elaborada en la Región Cusco es de S/ 1,272.51, mientras que el costo de un m<sup>3</sup> de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al utilizar piedra chancada de la cantera Vicho es de S/317.05, mostrándose así un incremento del 301.35%.

### **Recomendaciones**

A partir del ensayo de expansión térmica, se recomienda el estudio de la arcilla de Ocongate para la producción de ladrillos, ya que se observó una contracción moderada ante las temperaturas altas de calcinación. Además, se recomienda investigar la arcilla de Huayanay a mayores temperaturas o con aditivos que funcionen como fundentes.

Para futuras investigaciones, se recomienda complementar con estudios de las propiedades mecánicas del concreto  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> al utilizar arcilla térmicamente expandida.

Debido a la reducción de la conductividad térmica del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, se recomienda estudiar el comportamiento de bloques de concreto elaborados con arcilla térmicamente expandida de menor densidad para elementos de tabiquería, lo que permitiría dar mayor confort térmico a los usuarios.

Habiéndose demostrado las bondades de este producto, se recomienda realizar una propuesta industrial para su fabricación a grandes escalas.

Se recomienda realizar un estudio de la elaboración de arcilla térmicamente expandida utilizando aditivos como aceite usado para así reducir la temperatura de calcinación.

Se recomienda realizar investigaciones acerca de la elaboración de concreto con arcilla térmicamente expandida utilizando aditivos plastificantes para tener mayor trabajabilidad en la mezcla y optimizar su resistencia.

Se recomienda realizar investigaciones a otros materiales con potencial de expansión, como las pizarras, esquistos, entre otros. Ya que pueden presentar mayor dureza que la arcilla expandida.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceros Arequipa. ((s.f.)). Tipos de concreto según su peso unitario. *Construyendo Seguro-Consejos para el constructor*.
- ACI COMITE 211. (2002).
- ASTM C158-21. (2021). Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- Baquero Sanabria, B. A., Güiza Galeano, R. A., & García Marín, F. M. (2019). Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros. *Ingeniería y Desarrollo*, 18.
- Castillo Quimis, E. L., Mite Pezo, J. A., & Pérez Arévalo, J. J. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Revista Universidad y Sociedad*.
- CEYESA. (2023). *Todo acerca de analizadores XRF portátiles*.
- Correa Álvarez, P. F., González González, D., & Pacheco Alemán, J. G. (2016). ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE. SU REGULACIÓN JURÍDICA EN ECUADOR. *Revista Universidad y Sociedad*.
- Cubaud, J. C., & Murat, M. (1968). Fabricación Industrial de arcilla expandida. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*.
- Diez Campos, J., García Breijo, E., Pérez Clemente, I., Ros Lis, J. V., Soto Camino, J., & Vivancos Bono, J. L. (2007). Determinación Experimental de la conductividad Térmica de Materiales de la Construcción. *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*.
- García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (2012). *Las arcillas; Propiedades y Usos*.

- Giraldo Cárdenas, K. A., & García Escobar, J. O. (2006). Determinación Experimental de la aptitud a la expansión térmica de arcillas. *DYNA-Revistas Unal-Universidad Nacional de Colombia*.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torre, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación: Las Rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Huaman, L. (2010). *"Confort Térmico en Viviendas Altoandinas... Un Enfoque Integral"*. Lima, Perú: Balcarí Editores SAC.
- Ji Chen, H., Tse Chang, W., Wei Tang, C., & Fang Peng, C. (2023). A Feasibility Study on Textile Sludge as a Raw Material for Sintering Lightweight Aggregates and Its Application in Concrete. *Applied Sciences-MDPI*.
- Latertlite S. P. A. "Soluciones ligeras y asilantes". ((s.f.)). Propiedades y ventajas de la arcilla expandida.
- Linares, J., Huertas, F., & Capel, J. (1983). LA ARCILLA COMO MATERIAL CERAMICO. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO. *Fisicoquímica y Geoquímica mineral. Estación Experimental del Zaidín. (C.S.LC.) de Granada*.
- Martínez Pineda, D. R. (2010). *Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá*.
- Palma Baettig, R., Cornejo Troncoso, J., Salas Maureira, M., & Tapia Sanhueza, J. (2015). Comparative study between X-ray fluorescence and near infrared diffuse reflectance for the determination of retention in wood impregnated with chromated copper arsenate. *Maderas. Ciencia y tecnología*.

Polanco Madrazo, J. A., Diego Cavia, S., & García, C. T. (s.j.). Materiales de construcción.

*Departamento de ciencia e ingeniería - Universidad de Cantabria.*

Suarez Walsh, S. K. (2019). “*APLICACIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) COMO REEMPLAZO PARCIAL DE LOS ARIDOS EN MEZCLAS DE HORMIGÓN PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LA CONSTRUCCIÓN*”. GUAYAQUIL.

Torre Carrillo, A. (2004). *Curso Basico de Tecnología del Concreto*.

## APÉNDICES Y ANEXOS

### Apéndice A. Panel Fotográfico

#### Composición química de los tipos de arcilla seleccionadas

##### *Arcilla de Ocongate*

El	PPM	%
Mg	3300	10.60
Al	10.81%	0.15
Si	28.28%	0.25
P	834	84
S	784	49
K	1.525%	0.016
Ti	7580	380
V	95	38
Cr	56	46

El	PPM	%
Al	430	5.2
Fe	3.679%	0.042
Si	49	10
Ca	47	11
Zn	44	7
As	13	4
Rb	108	4
Sr	70	3
Y	45	4
Zr	364	7
Nb	15	4

El	PPM	%
Al	108	3
Si	20	4
Fe	41	4
Zn	304	7
Nb	18	4
As	20	5
Li	54.72%	0.38

##### *Arcilla de Huayanay*

El	PPM	%
Mg	3200	20.00
Al	14.64%	0.19
Si	25.62%	0.20
P	888	77
S	883	45
K	1.912%	0.023
Ti	8740	390
V	188	40
Cr	205	53

El	PPM	%
Al	239	46
Fe	4.387%	0.044
Ni	64	17
Ca	75	13
Zn	147	12
As	29	5
Rb	103	4
Y	158	3
V	41	4
Zr	173	6
Nb	24	4
Hf	27	6

El	PPM	%
Al	191	6
Si	193	6
Fe	41	6
Zn	126	6
Nb	38	6
Pb	27	6
W	18	13
Li	54.00%	0.41

##### *Arcilla de Sicuani*

El	PPM	%
Mg	1.32%	0.32
Al	13.72%	0.18
Si	22.23%	0.20
P	469	74
S	1543	96
K	2.352%	0.026
Ca	2411	99
Ti	4890	320
V	138	36

El	PPM	%
Al	120	48
Mn	306	48
Fe	4.157%	0.047
Ni	62	10
Cu	58	11
Zn	125	11
As	10	5
Rb	253	7
Sr	246	6
Y	30	4
Zr	197	5
Nb	12	3

El	PPM	%
Al	306	6
V	30	4
Zr	137	5
Nb	10	3
Pb	28	6
BH	14	13
Li	55.07%	0.39

*Arcilla de San Jerónimo*



*Arcilla de Checacupe*



*Arcilla de Lamay, Calca*



*Arcilla de Izcuchaca*



**Análisis de las propiedades físico mecánicas de los agregados.**

**Agregado fino:**

**Cantidad de material fino que pasa la malla N°200 (MTC E 202)**





Peso unitario.





### Granulometría





Gravedad específica y absorción.





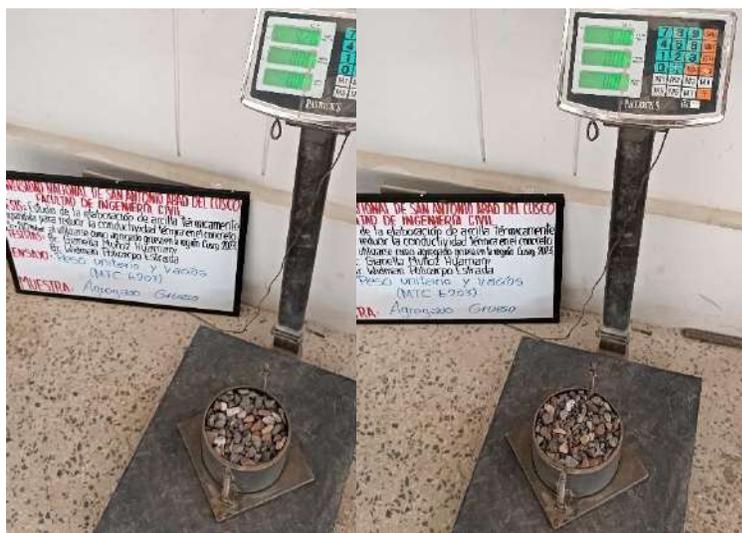
Agregado grueso

Cantidad de finos.





Peso unitario y vacíos.



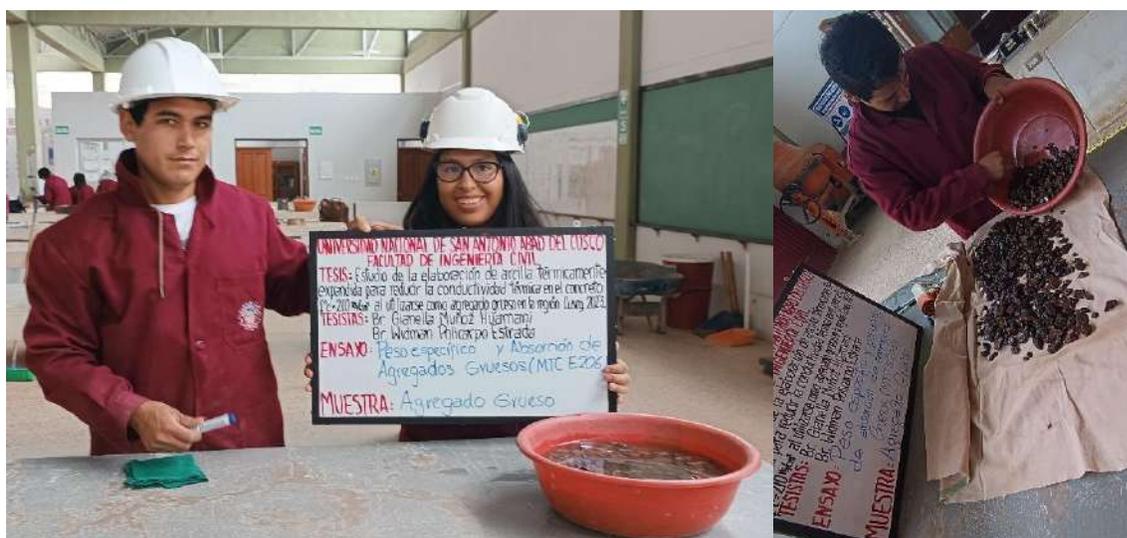
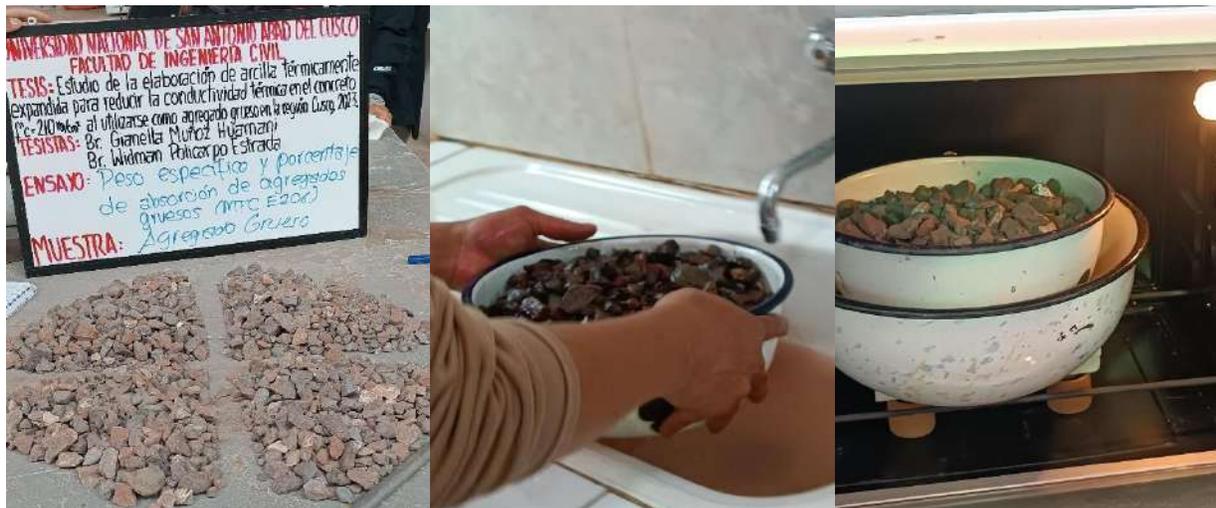


### Granulometría





Peso específico y absorción

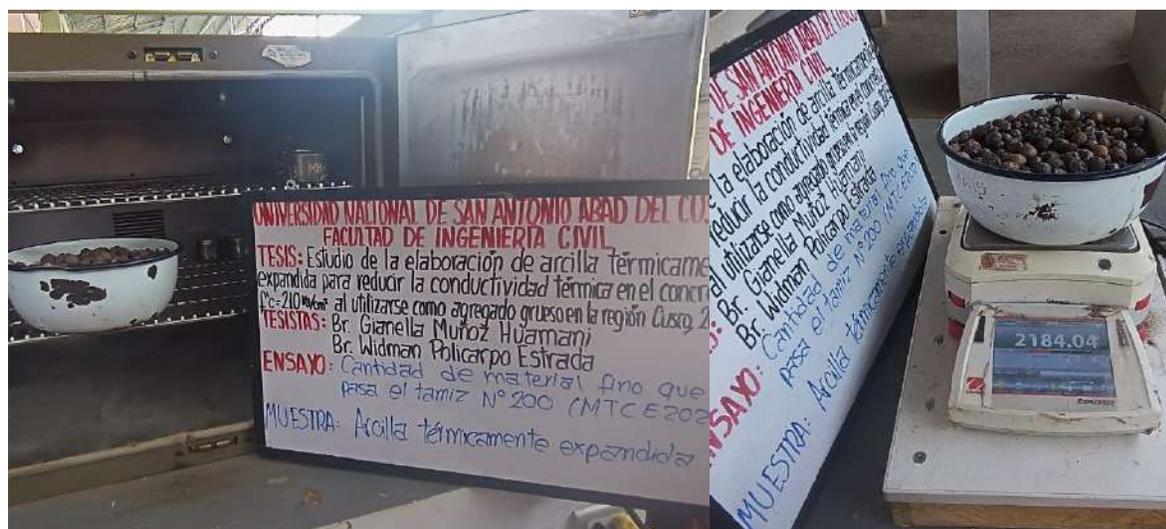




**Arcilla térmicamente expandida:**

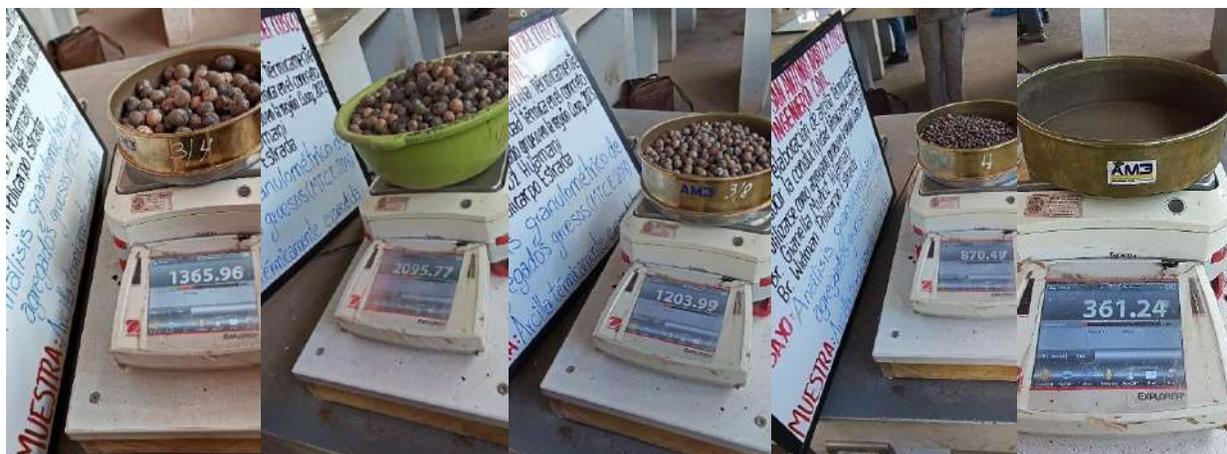
***Cantidad de material fino que pasa la malla N°200***





**Granulometría**



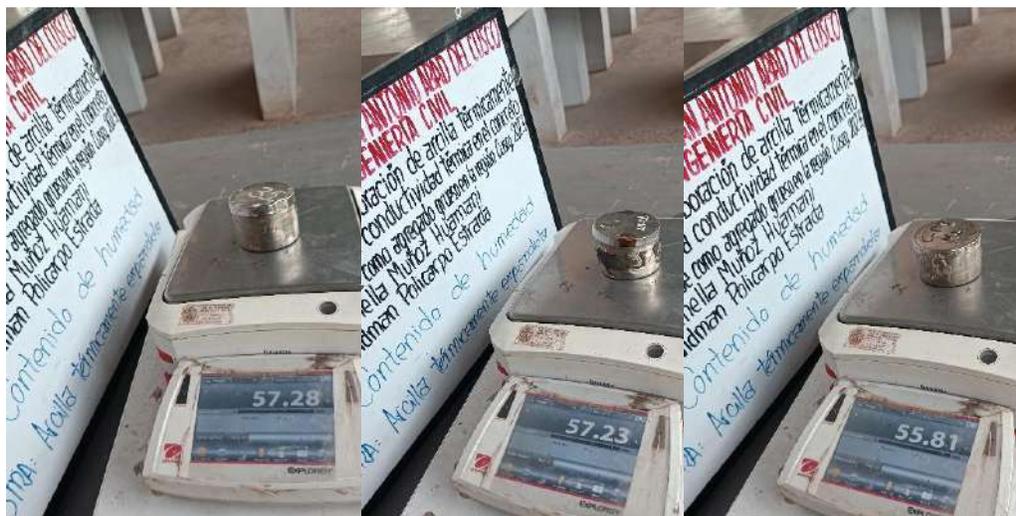


### *Peso específico y absorción*





### Contenido de Humedad





**Vaciado de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho.**

*Vaciado de bloques.*





*Briquetas.*





## Vaciado de concreto con arcilla térmicamente expandida.

### *Bloques.*



*Briquetas.*





## Determinación del asentamiento.

Concreto con piedra chancada de la cantera Vicho.

Bloques de 9cm x 14cm x 24cm.



## Briquetas.





**Concreto con arcilla térmicamente expandida.**

**Bloques de 9cm x 14cm x 24cm.**



### Briquetas.



Peso unitario en estado fresco de concreto con piedra chancada de la cantera Vicho.

### Bloques.





### Briquetas.



### Peso unitario en estado fresco de concreto con arcilla térmicamente expandida.

### Bloques.



**Briquetas.**

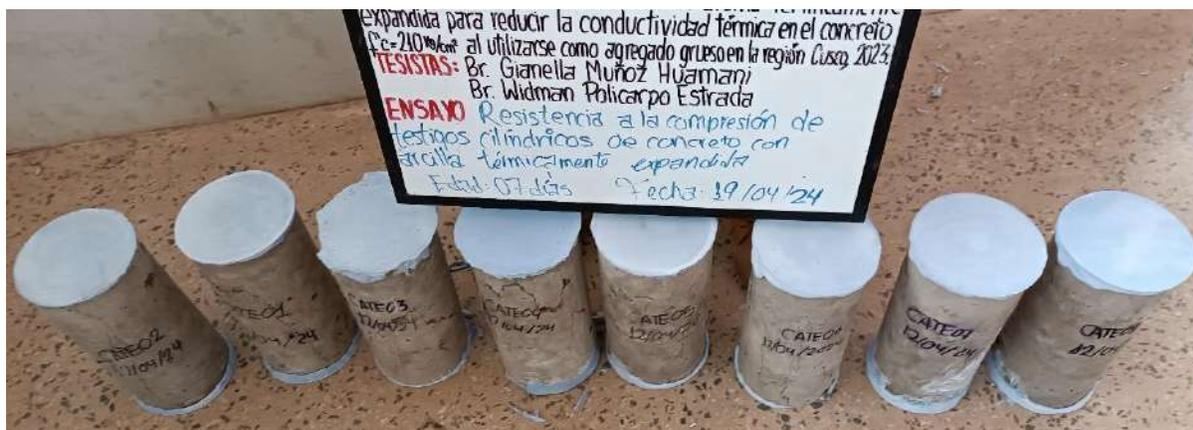


**Resistencia a la compresión de testigos de concreto con arcilla térmicamente expandida.**

**Siete días.**







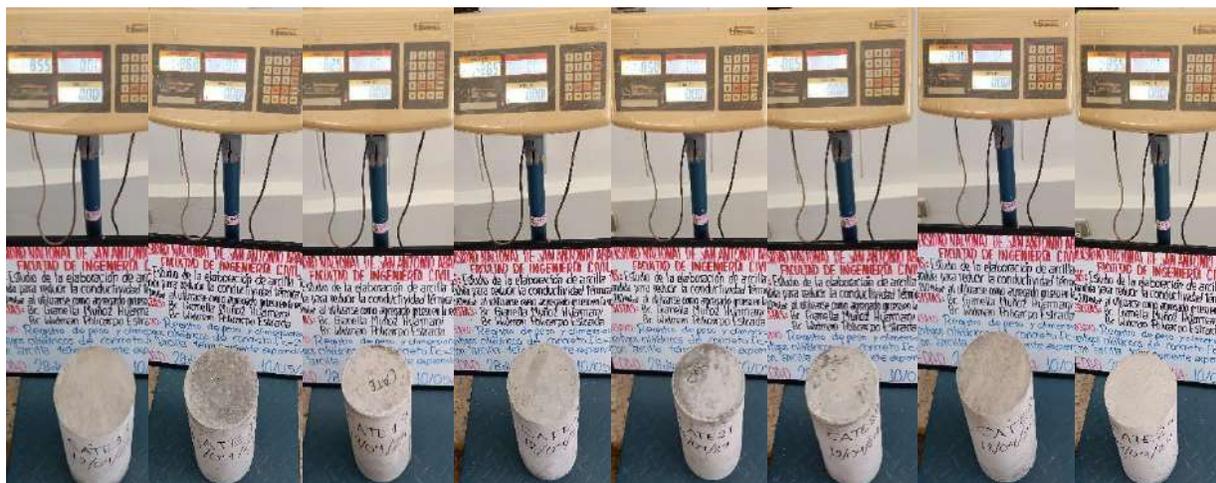
Catorce días.







*Veintiocho días.*





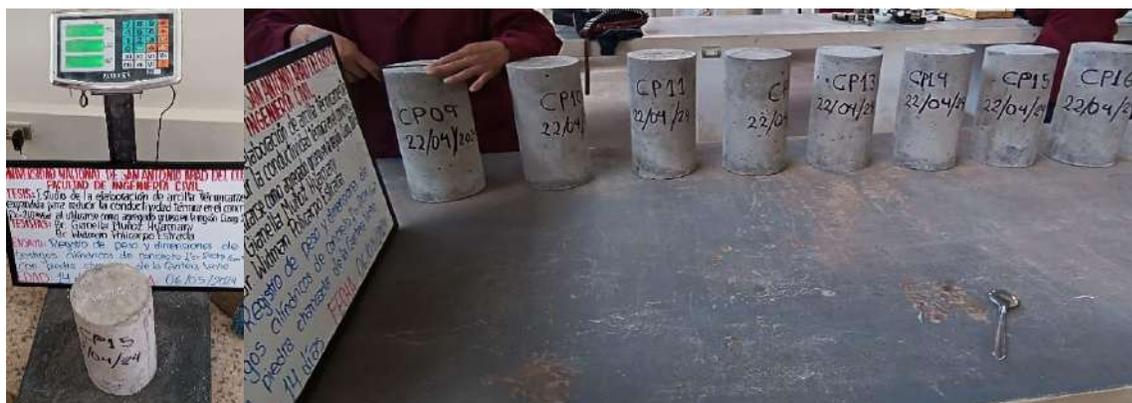
### Resistencia a la compresión de testigos de concreto con piedra chancada.

Siete días.



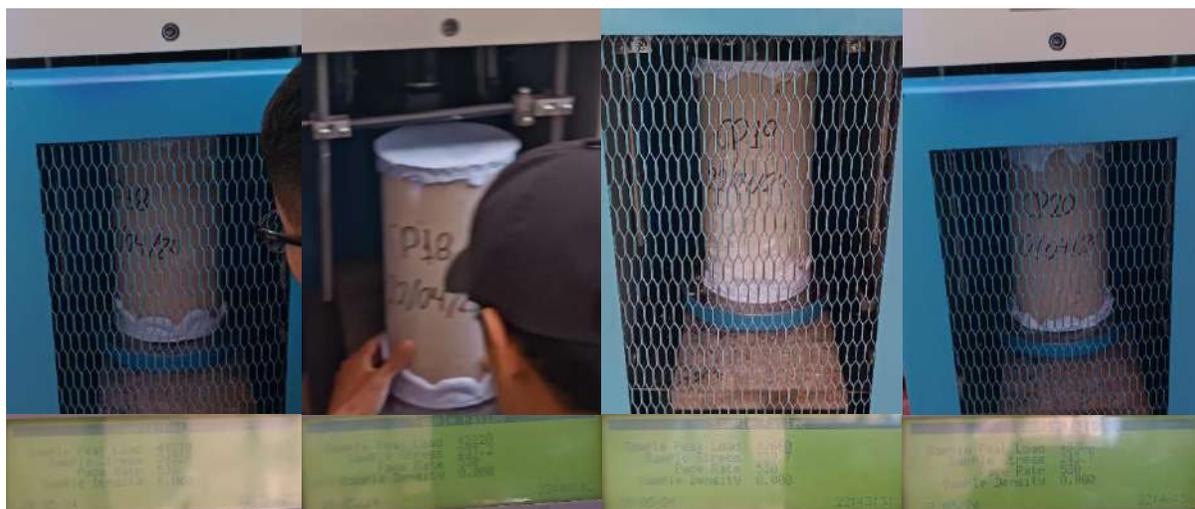


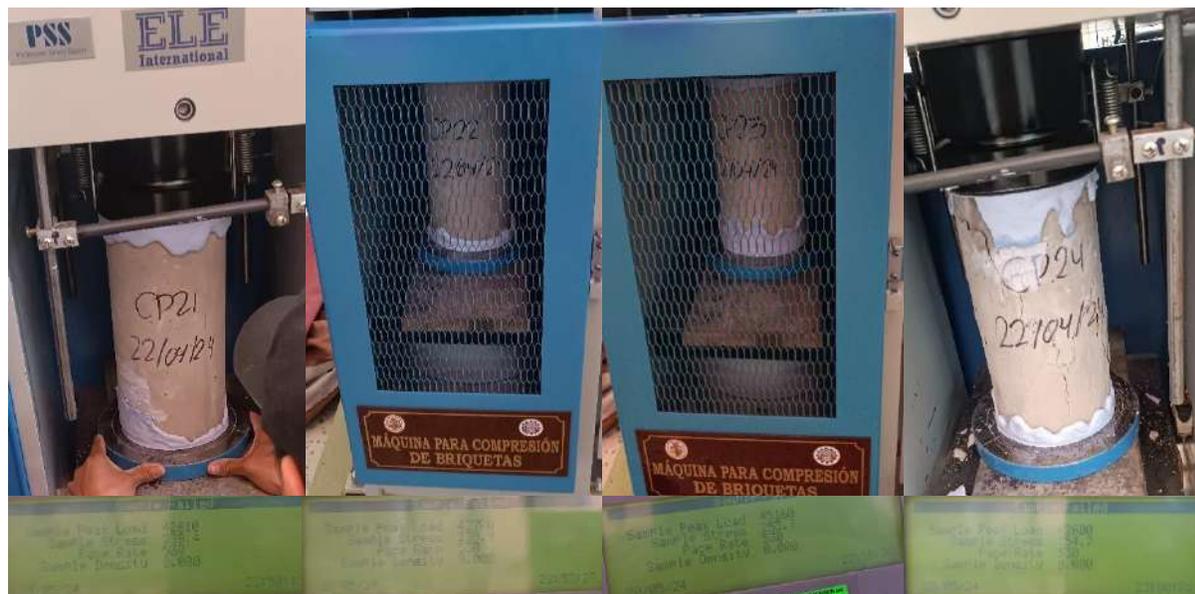
*Catorce días.*





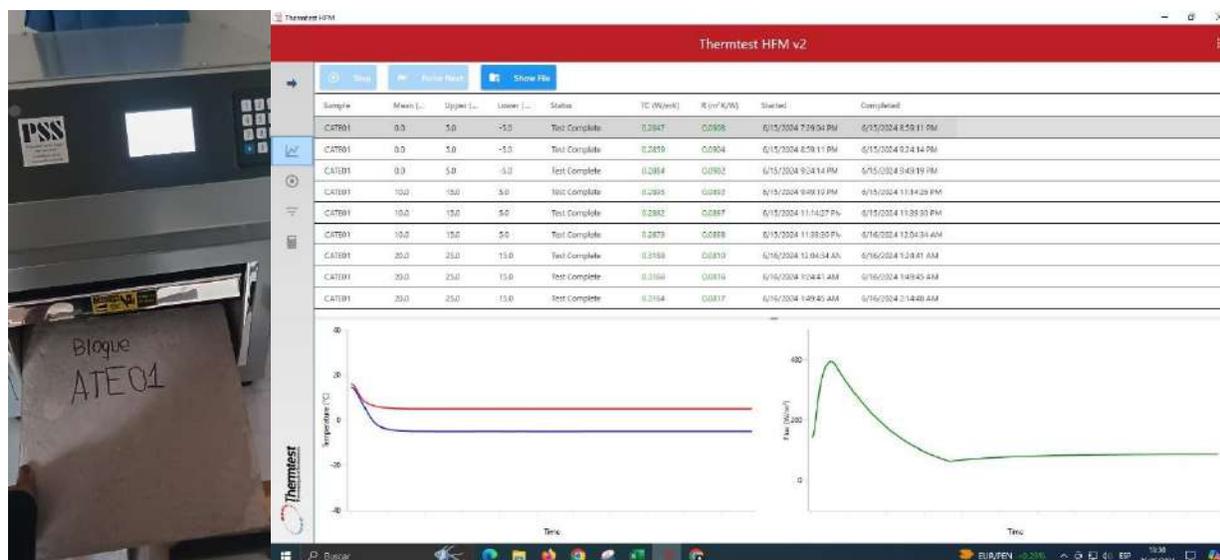
### Veintiocho días.

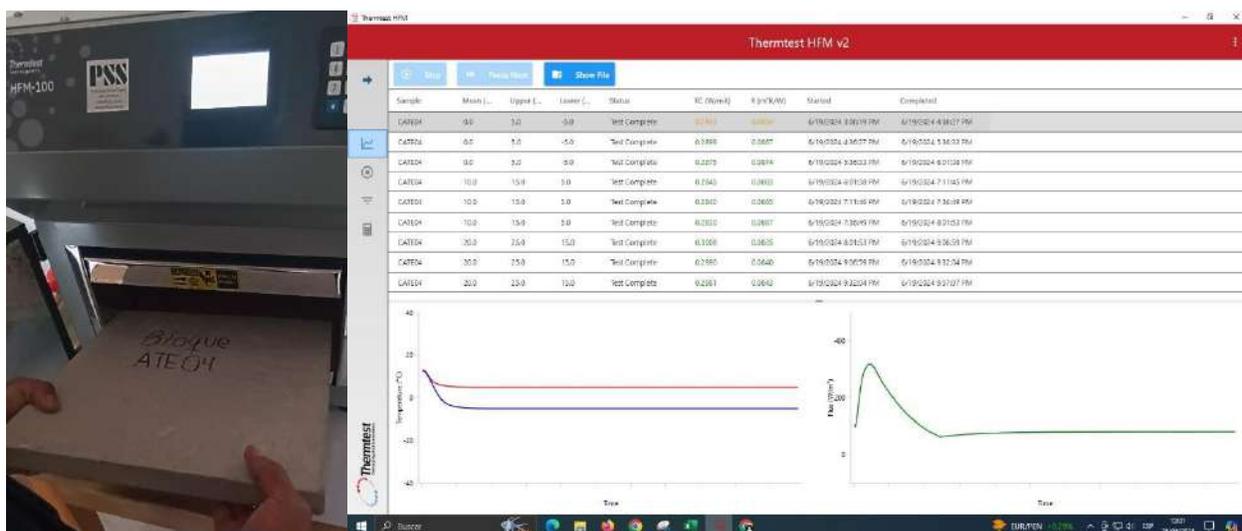
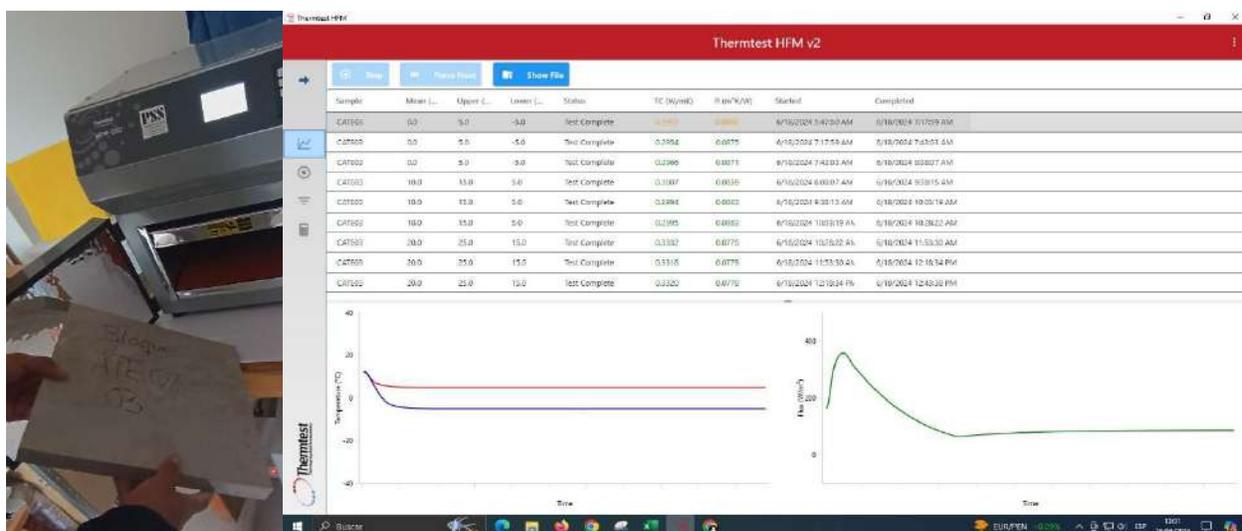
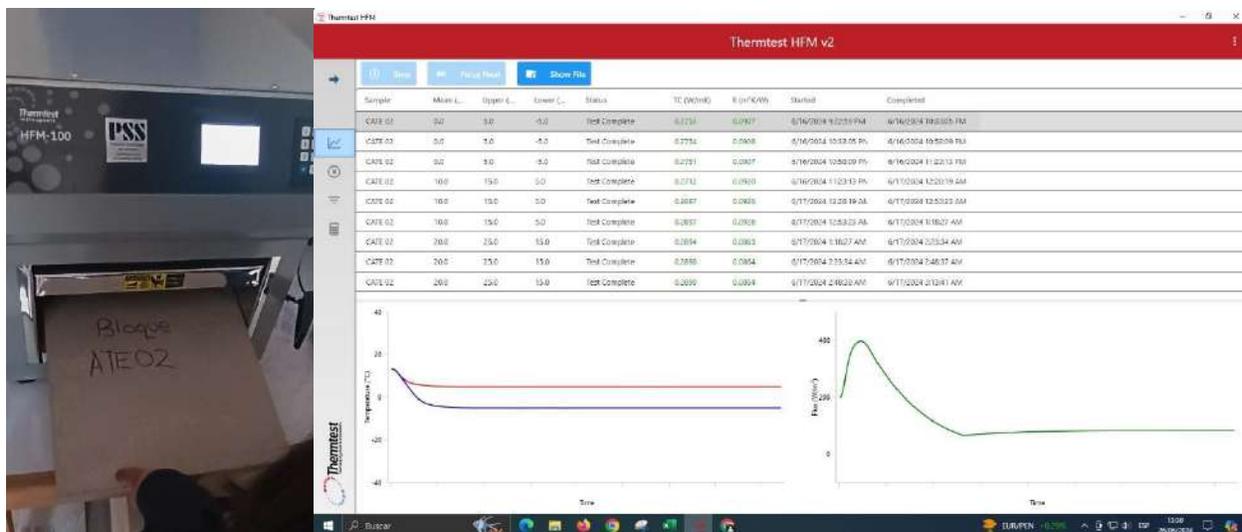




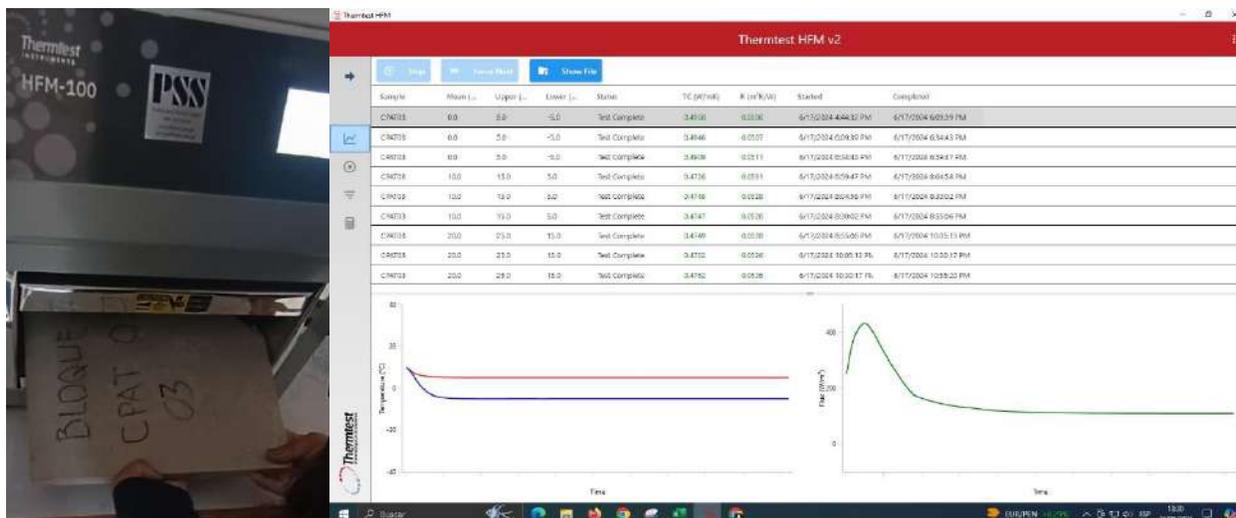
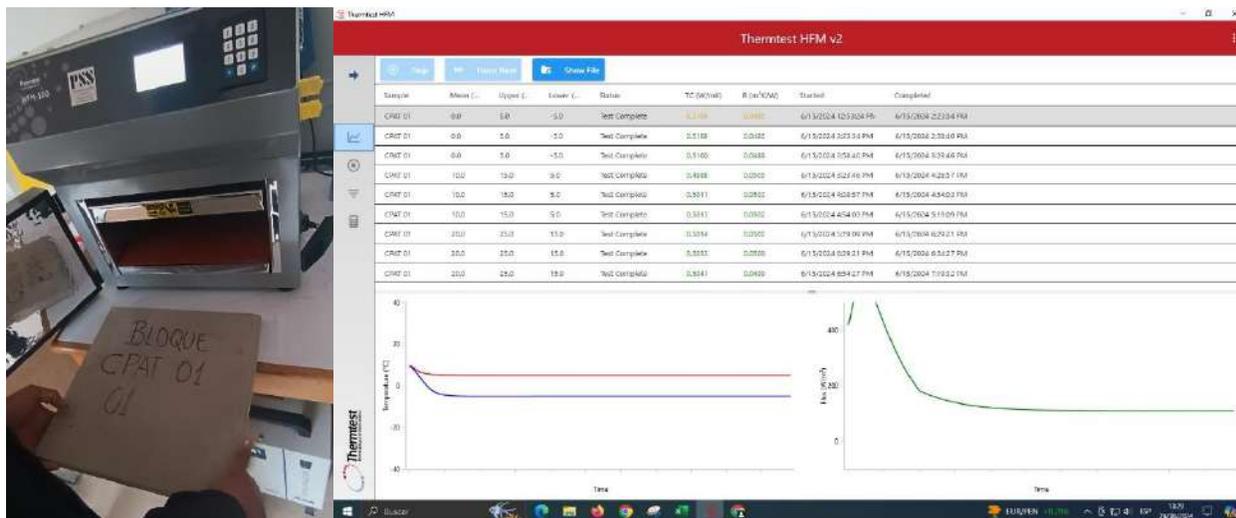
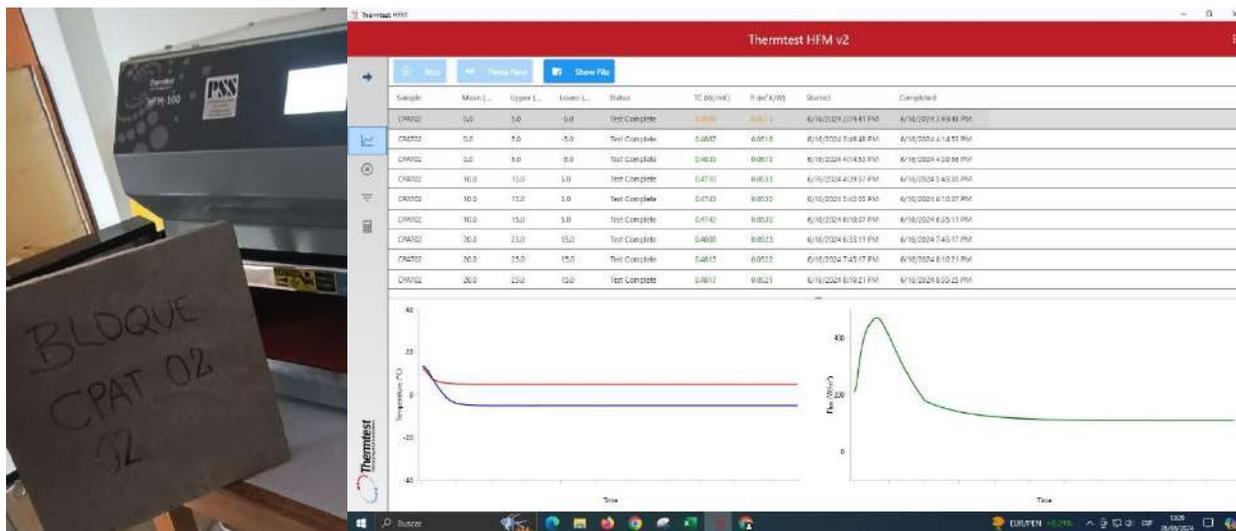
## Ensayo de Conductividad térmica

### *Concreto con arcilla térmicamente expandida*





Concreto con piedra chancada de la cantera Vicho



**Thermetest HFM v2**

Sample	Mean L...	Upper L...	Lower L...	Status	TC (W/mK)	R (m²K/W)	Started	Completed
CPAT04	0.0	3.0	-5.0	Test Complete	0.0359	0.0033	6/18/2024 3:06:55 PM	6/18/2024 3:08:02 PM
CPAT02	0.0	1.0	-5.0	Test Complete	0.0775	0.0035	6/18/2024 3:06:07 PM	6/18/2024 3:06:07 PM
CPAT04	0.0	9.0	5.0	Test Complete	0.4739	0.0027	6/18/2024 3:44:07 PM	6/18/2024 3:08:11 PM
CPAT02	10.0	15.0	0.0	Test Complete	0.4633	0.0043	6/18/2024 3:09:11 PM	6/18/2024 3:09:15 PM
CPAT00	18.0	13.0	0.0	Test Complete	0.0807	0.0037	6/18/2024 3:36:19 PM	6/18/2024 3:09:23 PM
CPAT04	10.0	15.0	5.0	Test Complete	0.4873	0.0037	6/18/2024 3:59:22 PM	6/18/2024 3:04:29 PM
CPAT04	20.0	25.0	15.0	Test Complete	0.4775	0.0035	6/18/2024 4:24:20 PM	6/18/2024 3:24:31 PM
CPAT04	30.0	35.0	15.0	Test Complete	0.2754	0.0035	6/18/2024 4:24:35 PM	6/18/2024 3:24:35 PM
CPAT04	20.0	25.0	15.0	Test Complete	0.4600	0.0022	6/18/2024 9:49:23 PM	6/18/2024 10:14:12 PM

**Temperature vs Time Graph**

**Heat Flux vs Time Graph**

## Apéndice B. Ensayo de cambio volumétrico a altas temperaturas.

### Arcilla de San Jerónimo

#### *Temperatura de 1131°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación			Después de la calcinación					Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
101	3.13	1.502	1.500	1.769	1.770	3.10	1.498	1.500	1.766	1.756	-0.16%
		1.498									
		1.5									
		1.502									
		1.5									
102	3.10	1.498	1.498	1.760	1.761	3.08	1.498	1.497	1.757	1.753	-0.16%
		1.498									
		1.496									
		1.5									
		1.498									
103	3.12	1.5	1.501	1.770	1.763	3.11	1.498	1.500	1.769	1.758	-0.08%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
		1.502									
104	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	3.10	1.498	1.500	1.766	1.756	-0.08%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.498									
105	3.13	1.502	1.501	1.771	1.767	3.10	1.502	1.500	1.767	1.754	-0.24%
		1.5									
		1.502									
		1.502									
		1.5									
106	3.14	1.504	1.502	1.776	1.768	3.11	1.5	1.502	1.773	1.754	-0.16%
		1.502									
		1.502									
		1.5									
		1.504									
107	3.09	1.496	1.497	1.756	1.760	3.08	1.498	1.496	1.754	1.756	-0.08%
		1.496									
		1.498									
		1.496									
		1.498									
108	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	3.11	1.498	1.499	1.764	1.763	-0.16%
		1.498									
		1.502									
		1.5									
		1.5									
109	3.13	1.502	1.500	1.767	1.771	3.10	1.5	1.499	1.764	1.757	-0.16%
		1.5									
		1.498									
		1.502									
		1.498									
110	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.10	1.5	1.498	1.761	1.760	-0.16%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.496									

		1.498					1.498				
		1.496					1.498				
111	3.11	1.496	1.498	1.759	1.768	3.08	1.496	1.497	1.757	1.753	-0.08%
		1.5					1.496				
		1.498					1.498				
		1.496					1.498				
		1.498					1.496				
112	3.10	1.498	1.497	1.756	1.766	3.08	1.496	1.496	1.753	1.757	-0.16%
		1.496					1.494				
		1.496					1.496				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
113	3.13	1.5	1.500	1.769	1.770	3.11	1.502	1.500	1.767	1.760	-0.08%
		1.498					1.5				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.498					1.498				
114	3.11	1.5	1.499	1.763	1.764	3.10	1.5	1.498	1.761	1.760	-0.08%
		1.498					1.498				
		1.498					1.498				
		1.502					1.5				
		1.502					1.498				
115	3.13	1.5	1.501	1.770	1.768	3.11	1.502	1.500	1.769	1.758	-0.08%
		1.5					1.502				
		1.5					1.5				
		1.496					1.496				
		1.498					1.498				
116	3.09	1.496	1.497	1.756	1.760	3.08	1.494	1.496	1.753	1.757	-0.16%
		1.498					1.496				
		1.496					1.496				
		1.498					1.5				
		1.498					1.498				
117	3.12	1.498	1.498	1.760	1.773	3.09	1.496	1.497	1.757	1.758	-0.16%
		1.5					1.498				
		1.498					1.494				
		1.494					1.496				
		1.496					1.494				
118	3.10	1.498	1.496	1.754	1.767	3.07	1.494	1.496	1.752	1.753	-0.16%
		1.498					1.496				
		1.496					1.498				
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
119	3.13	1.498	1.500	1.766	1.773	3.10	1.498	1.499	1.763	1.758	-0.16%
		1.502					1.498				
		1.5					1.5				
		1.496					1.496				
		1.498					1.498				
120	3.10	1.496	1.496	1.754	1.767	3.08	1.494	1.496	1.753	1.757	-0.08%
		1.494					1.494				
		1.498					1.498				

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Antes de la Calcinación					Después de la calcinación					Cambio volumétrico
	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
121	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.10	1.498	1.499	1.763	1.758	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
122	3.10	1.5	1.498	1.759	1.763	3.08	1.498	1.497	1.757	1.753	-0.08%
		1.498					1.496				
		1.496					1.498				
		1.496					1.498				
		1.498					1.498				
123	3.12	1.502	1.500	1.767	1.766	3.10	1.498	1.499	1.764	1.757	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
124	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	3.10	1.5	1.500	1.766	1.756	-0.08%
		1.502					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.498					1.5				
125	3.13	1.502	1.501	1.770	1.768	3.11	1.502	1.500	1.767	1.760	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.502					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
126	3.14	1.504	1.502	1.776	1.768	3.12	1.5	1.502	1.774	1.759	-0.08%
		1.502					1.502				
		1.502					1.502				
		1.5					1.502				
		1.504					1.502				
127	3.10	1.496	1.497	1.756	1.766	3.07	1.498	1.497	1.756	1.748	0.00%
		1.496					1.496				
		1.498					1.496				
		1.496					1.496				
		1.498					1.496				
128	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	-0.08%
		1.498					1.502				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
129	3.11	1.5	1.499	1.763	1.764	3.09	1.498	1.498	1.761	1.754	-0.08%
		1.498					1.5				
		1.502					1.498				
		1.496					1.498				
		1.498					1.498				
130	3.12	1.498	1.500	1.766	1.767	3.10	1.5	1.500	1.766	1.756	0.00%
		1.498					1.502				
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				

		1.496					1.498				
		1.5					1.498				
131	3.11	1.498	1.498	1.760	1.767	3.08	1.496	1.497	1.757	1.753	-0.16%
		1.498					1.496				
		1.498					1.498				
		1.498					1.498				
		1.5					1.5				
132	3.10	1.498	1.498	1.760	1.761	3.07	1.496	1.497	1.757	1.747	-0.16%
		1.496					1.496				
		1.498					1.498				
		1.498					1.496				
		1.498					1.496				
		1.5					1.5				
133	3.13	1.5	1.500	1.767	1.771	3.11	1.502	1.500	1.767	1.760	0.00%
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
134	3.11	1.5	1.499	1.764	1.763	3.10	1.5	1.499	1.763	1.758	-0.08%
		1.498					1.5				
		1.498					1.498				
		1.502					1.502				
		1.498					1.498				
135	3.14	1.504	1.501	1.770	1.774	3.11	1.502	1.501	1.770	1.757	0.00%
		1.5					1.502				
		1.5					1.5				
		1.496					1.496				
		1.498					1.498				
136	3.11	1.5	1.499	1.763	1.764	3.08	1.5	1.498	1.760	1.750	-0.16%
		1.498					1.496				
		1.502					1.5				
		1.498					1.498				
		1.496					1.498				
137	3.11	1.498	1.498	1.760	1.767	3.09	1.496	1.498	1.760	1.756	0.00%
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
		1.5					1.496				
		1.496					1.498				
138	3.11	1.498	1.498	1.759	1.768	3.07	1.498	1.497	1.757	1.747	-0.08%
		1.498					1.496				
		1.496					1.498				
		1.496					1.498				
		1.5					1.498				
139	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.10	1.498	1.499	1.763	1.758	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.496				
		1.498					1.498				
140	3.11	1.496	1.499	1.763	1.764	3.08	1.498	1.498	1.760	1.750	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
141	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	-0.08%
		1.5									
		1.5									
		1.5									
		1.5									
142	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.08	1.5	1.498	1.761	1.749	-0.16%
		1.5									
		1.5									
		1.5									
		1.498									
143	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	-0.08%
		1.498									
		1.502									
		1.5									
		1.498									
144	3.13	1.5	1.500	1.766	1.773	3.09	1.498	1.499	1.763	1.753	-0.16%
		1.5									
		1.5									
		1.498									
		1.5									
145	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	-0.08%
		1.498									
		1.502									
		1.5									
		1.5									
146	3.12	1.502	1.501	1.771	1.761	3.09	1.502	1.500	1.769	1.747	-0.16%
		1.5									
		1.502									
		1.502									
		1.5									
147	3.11	1.5	1.500	1.767	1.760	3.09	1.502	1.499	1.764	1.751	-0.16%
		1.5									
		1.5									
		1.502									
		1.498									
148	3.12	1.5	1.500	1.766	1.767	3.08	1.498	1.499	1.764	1.746	-0.08%
		1.498									
		1.498									
		1.502									
		1.5									
149	3.11	1.502	1.500	1.769	1.758	3.09	1.498	1.500	1.767	1.749	-0.08%
		1.5									
		1.5									
		1.498									
		1.502									
150	3.11	1.498	1.500	1.767	1.760	3.08	1.498	1.499	1.764	1.746	-0.16%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.5									

		1.5					1.502				
		1.502					1.498				
151	3.12	1.5	1.500	1.769	1.764	3.09	1.5	1.500	1.766	1.750	-0.16%
		1.502					1.5				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
152	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	-0.08%
		1.498					1.5				
		1.502					1.5				
		1.502					1.5				
153	3.12	1.5	1.500	1.769	1.764	3.09	1.5	1.500	1.767	1.749	-0.08%
		1.5					1.502				
		1.498					1.5				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.502					1.498				
154	3.12	1.5	1.501	1.771	1.761	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	-0.16%
		1.502					1.502				
		1.502					1.502				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
155	3.12	1.502	1.500	1.769	1.764	3.08	1.502	1.500	1.767	1.743	-0.08%
		1.498					1.502				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.502					1.498				
156	3.13	1.498	1.500	1.767	1.771	3.09	1.5	1.500	1.767	1.749	0.00%
		1.5					1.5				
		1.498					1.502				
		1.5					1.502				
		1.5					1.5				
		1.502					1.502				
157	3.13	1.502	1.501	1.770	1.768	3.09	1.5	1.500	1.767	1.749	-0.16%
		1.502					1.5				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
158	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	0.00%
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
159	3.12	1.498	1.500	1.766	1.767	3.08	1.496	1.499	1.763	1.747	-0.16%
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.496					1.498				
		1.498					1.5				
160	3.11	1.5	1.499	1.764	1.763	3.08	1.498	1.499	1.764	1.746	0.00%
		1.502					1.5				
		1.5					1.5				

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
161	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	3.06	1.468	1.469	1.659	1.844	-6.04%
		1.5					1.472				
		1.498					1.47				
		1.502					1.466				
		1.5					1.468				
162	3.11	1.496	1.499	1.763	1.764	3.06	1.47	1.470	1.665	1.838	-5.58%
		1.498					1.472				
		1.5					1.468				
		1.502					1.47				
		1.498					1.472				
163	3.12	1.5	1.501	1.771	1.761	3.07	1.472	1.471	1.666	1.843	-5.95%
		1.502					1.47				
		1.5					1.47				
		1.502					1.47				
		1.5					1.468				
164	3.11	1.5	1.499	1.764	1.763	3.08	1.47	1.469	1.661	1.855	-5.88%
		1.5					1.468				
		1.498					1.47				
		1.5					1.47				
		1.498					1.47				
165	3.12	1.5	1.500	1.766	1.767	3.03	1.468	1.469	1.661	1.825	-5.96%
		1.5					1.47				
		1.498					1.47				
		1.5					1.466				
		1.5					1.472				
166	3.11	1.496	1.499	1.764	1.763	3.06	1.47	1.470	1.665	1.838	-5.65%
		1.502					1.47				
		1.5					1.468				
		1.5					1.472				
		1.498					1.472				
167	3.13	1.502	1.501	1.771	1.767	3.07	1.47	1.470	1.662	1.847	-6.18%
		1.502					1.47				
		1.5					1.47				
		1.502					1.468				
		1.5					1.468				
168	3.11	1.498	1.499	1.763	1.764	3.06	1.466	1.470	1.663	1.840	-5.65%
		1.498					1.47				
		1.496					1.472				
		1.5					1.472				
		1.502					1.47				
169	3.13	1.502	1.500	1.766	1.773	3.05	1.468	1.469	1.659	1.838	-6.04%
		1.5					1.468				
		1.498					1.47				
		1.498					1.468				
		1.5					1.47				
170	3.11	1.498	1.499	1.763	1.764	3.04	1.468	1.469	1.661	1.831	-5.81%
		1.5					1.47				
		1.498					1.47				
		1.5					1.47				
		1.498					1.47				

		1.5					1.468				
		1.5					1.47				
171	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.07	1.468	1.470	1.662	1.847	-5.81%
		1.5					1.472				
		1.498					1.47				
		1.502					1.468				
		1.5					1.47				
172	3.12	1.498	1.500	1.766	1.767	3.05	1.468	1.469	1.661	1.837	-5.96%
		1.5					1.47				
		1.498					1.47				
		1.5					1.468				
		1.5					1.47				
173	3.11	1.498	1.499	1.763	1.764	3.07	1.466	1.469	1.661	1.849	-5.81%
		1.5					1.472				
		1.496					1.47				
		1.502					1.468				
		1.5					1.47				
174	3.13	1.498	1.500	1.767	1.771	3.06	1.47	1.470	1.662	1.841	-5.96%
		1.5					1.468				
		1.5					1.472				
		1.498					1.468				
		1.502					1.472				
175	3.11	1.498	1.500	1.767	1.760	3.06	1.47	1.470	1.662	1.841	-5.96%
		1.502					1.47				
		1.5					1.468				
		1.5					1.47				
176	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	3.07	1.47	1.470	1.662	1.847	-5.81%
		1.5					1.468				
		1.498					1.47				
		1.498					1.472				
		1.5					1.468				
		1.502					1.47				
		1.498					1.47				
177	3.11	1.5	1.500	1.766	1.761	3.08	1.468	1.470	1.662	1.853	-5.88%
		1.5					1.468				
		1.498					1.472				
		1.498					1.47				
		1.5					1.468				
		1.498					1.472				
		1.498					1.472				
178	3.13	1.502	1.501	1.770	1.768	3.04	1.47	1.470	1.665	1.826	-5.95%
		1.502					1.47				
		1.502					1.47				
		1.5					1.468				
		1.5					1.47				
179	3.11	1.498	1.499	1.764	1.763	3.06	1.47	1.470	1.662	1.841	-5.81%
		1.5					1.468				
		1.498					1.47				
		1.498					1.472				
		1.5					1.468				
		1.502					1.47				
		1.498					1.472				
180	3.12	1.5	1.501	1.770	1.763	3.05	1.472	1.471	1.666	1.831	-5.88%
		1.502					1.47				
		1.498					1.472				
		1.502					1.47				
		1.502					1.47				

## Arcilla de Checacupe

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación			Después de la calcinación					Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
201	3.16	1.502	1.502	1.774	1.781	3.14	1.5	1.501	1.771	1.773	-0.16%
		1.502					1.502				
		1.5					1.5				
		1.504					1.502				
202	3.15	1.5	1.500	1.766	1.784	3.12	1.5	1.499	1.764	1.768	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
203	3.15	1.5	1.500	1.767	1.783	3.13	1.498	1.500	1.769	1.770	0.08%
		1.5					1.5				
		1.498					1.502				
		1.502					1.502				
204	3.13	1.5	1.499	1.764	1.774	3.12	1.498	1.499	1.763	1.770	-0.08%
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
205	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.12	1.5	1.498	1.761	1.771	-0.16%
		1.5					1.496				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
206	3.16	1.504	1.502	1.776	1.780	3.13	1.5	1.501	1.771	1.767	-0.24%
		1.502					1.502				
		1.5					1.502				
		1.504					1.502				
207	3.15	1.502	1.500	1.769	1.781	3.13	1.498	1.500	1.766	1.773	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.498					1.5				
		1.502					1.5				
208	3.14	1.496	1.498	1.760	1.784	3.11	1.498	1.497	1.757	1.770	-0.16%
		1.498					1.498				
		1.498					1.496				
		1.5					1.496				
209	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.12	1.498	1.498	1.761	1.771	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.498					1.496				
		1.498					1.498				
210	3.13	1.498	1.500	1.766	1.773	3.12	1.5	1.499	1.764	1.768	-0.08%
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				

		1.502					1.498				
		1.5					1.498				
211	3.15	1.5	1.500	1.769	1.781	3.13	1.5	1.500	1.766	1.773	-0.16%
		1.498					1.502				
		1.502					1.5				
		1.502					1.502				
		1.5					1.498				
212	3.14	1.498	1.500	1.767	1.777	3.12	1.496	1.499	1.763	1.770	-0.24%
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.504					1.502				
213	3.15	1.5	1.502	1.773	1.777	3.13	1.502	1.501	1.770	1.768	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.502					1.498				
		1.5					1.5				
214	3.15	1.5	1.500	1.767	1.783	3.12	1.5	1.499	1.763	1.770	-0.24%
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.496					1.5				
		1.498					1.498				
215	3.14	1.496	1.498	1.760	1.784	3.11	1.496	1.498	1.760	1.767	0.00%
		1.5					1.496				
		1.5					1.5				
		1.496					1.496				
		1.498					1.498				
216	3.13	1.5	1.498	1.759	1.780	3.10	1.5	1.497	1.757	1.764	-0.08%
		1.498					1.496				
		1.496					1.496				
		1.498					1.5				
		1.496					1.498				
217	3.13	1.498	1.498	1.760	1.778	3.10	1.496	1.497	1.757	1.764	-0.16%
		1.5					1.498				
		1.498					1.494				
		1.5					1.496				
		1.496					1.5				
218	3.13	1.498	1.499	1.763	1.775	3.11	1.5	1.498	1.760	1.767	-0.16%
		1.5					1.496				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.5				
219	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	-0.08%
		1.502					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.502				
		1.502					1.5				
220	3.16	1.502	1.502	1.773	1.782	3.13	1.502	1.501	1.770	1.768	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.504					1.5				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
221	3.16	1.5	1.502	1.773	1.782	3.14	1.502	1.502	1.773	1.771	0.00%
		1.504					1.504				
		1.5					1.5				
		1.502					1.502				
		1.502					1.502				
222	3.14	1.5	1.498	1.761	1.783	3.11	1.496	1.498	1.760	1.767	-0.08%
		1.498					1.498				
		1.498					1.498				
		1.496					1.5				
		1.5					1.5				
223	3.15	1.502	1.501	1.770	1.780	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	-0.16%
		1.502					1.502				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
224	3.14	1.5	1.498	1.761	1.783	3.11	1.496	1.498	1.759	1.768	-0.16%
		1.498					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.496					1.496				
225	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	-0.08%
		1.502					1.502				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
226	3.15	1.502	1.500	1.769	1.781	3.12	1.5	1.500	1.767	1.766	-0.08%
		1.498					1.502				
		1.502					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
227	3.16	1.5	1.502	1.774	1.781	3.14	1.5	1.502	1.774	1.770	0.00%
		1.504					1.502				
		1.5					1.502				
		1.502					1.502				
		1.504					1.504				
228	3.14	1.498	1.500	1.767	1.777	3.11	1.5	1.499	1.764	1.763	-0.16%
		1.502					1.5				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
229	3.15	1.502	1.500	1.769	1.781	3.12	1.5	1.500	1.769	1.764	0.00%
		1.502					1.502				
		1.5					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.502				
230	3.16	1.504	1.502	1.776	1.780	3.14	1.502	1.502	1.774	1.770	-0.08%
		1.5					1.502				
		1.504					1.5				
		1.502					1.504				
		1.502					1.502				

		1.502					1.5				
		1.5					1.5				
231	3.14	1.5	1.500	1.767	1.777	3.12	1.5	1.500	1.766	1.767	-0.08%
		1.498					1.5				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.502					1.5				
232	3.15	1.5	1.501	1.770	1.780	3.12	1.498	1.500	1.767	1.766	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.5					1.502				
		1.5					1.5				
		1.502					1.498				
233	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.11	1.5	1.499	1.764	1.763	-0.08%
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.498					1.498				
		1.502					1.5				
234	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.12	1.498	1.499	1.764	1.768	0.00%
		1.5					1.5				
		1.498					1.5				
		1.502					1.504				
		1.502					1.502				
235	3.16	1.504	1.503	1.777	1.778	3.14	1.502	1.502	1.776	1.768	-0.08%
		1.502					1.5				
		1.504					1.504				
		1.5					1.502				
		1.502					1.502				
236	3.16	1.502	1.502	1.774	1.781	3.12	1.5	1.501	1.771	1.761	-0.16%
		1.502					1.502				
		1.504					1.5				
		1.496					1.498				
		1.5					1.496				
237	3.14	1.498	1.498	1.761	1.783	3.10	1.498	1.498	1.760	1.761	-0.08%
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.496				
238	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.12	1.498	1.499	1.763	1.770	-0.08%
		1.502					1.5				
		1.498					1.5				
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
239	3.15	1.5	1.500	1.769	1.781	3.12	1.498	1.500	1.766	1.767	-0.16%
		1.502					1.502				
		1.502					1.5				
		1.504					1.504				
		1.504					1.502				
240	3.16	1.5	1.502	1.776	1.780	3.14	1.502	1.502	1.776	1.768	0.00%
		1.5					1.5				
		1.504					1.504				

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
241	3.14	1.502	1.500	1.769	1.775	3.09	1.498	1.500	1.766	1.750	-0.16%
		1.5					1.496				
		1.5					1.5				
		1.502					1.502				
		1.498					1.502				
242	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.10	1.5	1.500	1.766	1.756	0.08%
		1.498					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.498				
243	3.13	1.5	1.498	1.760	1.778	3.08	1.5	1.498	1.760	1.750	0.00%
		1.496					1.498				
		1.498					1.498				
		1.496					1.498				
		1.5					1.498				
244	3.14	1.5	1.500	1.769	1.775	3.10	1.5	1.500	1.769	1.753	0.00%
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.5					1.5				
		1.5					1.504				
245	3.16	1.504	1.502	1.776	1.780	3.11	1.502	1.502	1.774	1.753	-0.08%
		1.502					1.502				
		1.502					1.5				
		1.5					1.504				
		1.504					1.502				
246	3.14	1.5	1.500	1.767	1.777	3.09	1.5	1.500	1.766	1.750	-0.08%
		1.502					1.502				
		1.498					1.502				
		1.5					1.5				
		1.5					1.496				
247	3.14	1.5	1.499	1.764	1.780	3.10	1.498	1.499	1.763	1.758	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
248	3.14	1.5	1.499	1.763	1.781	3.09	1.5	1.499	1.763	1.753	0.00%
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
		1.5					1.498				
		1.496					1.498				
249	3.14	1.502	1.500	1.766	1.778	3.10	1.5	1.499	1.763	1.758	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.498					1.5				
		1.5					1.496				
		1.498					1.498				
250	3.14	1.5	1.499	1.763	1.781	3.10	1.5	1.498	1.761	1.760	-0.08%
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.496					1.498				

		1.494					1.496					
		1.496					1.494					
251	3.13	1.5	1.497	1.757	1.781	3.09	1.496	1.497	1.756	1.760	-0.08%	
		1.5					1.498					
		1.496					1.5					
		1.5					1.502					
		1.5					1.498					
252	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.10	1.496	1.499	1.763	1.758	-0.16%	
		1.502					1.5					
		1.498					1.498					
		1.502					1.5					
		1.502					1.502					
253	3.15	1.5	1.500	1.769	1.781	3.12	1.502	1.500	1.769	1.764	0.00%	
		1.498					1.5					
		1.5					1.498					
		1.502					1.5					
		1.498					1.498					
254	3.15	1.5	1.500	1.766	1.784	3.11	1.496	1.499	1.763	1.764	-0.16%	
		1.5					1.498					
		1.498					1.502					
		1.502					1.5					
		1.498					1.498					
255	3.14	1.498	1.500	1.767	1.777	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	-0.08%	
		1.5					1.502					
		1.5					1.498					
		1.502					1.5					
		1.496					1.5					
256	3.14	1.498	1.499	1.763	1.781	3.11	1.5	1.499	1.763	1.764	0.00%	
		1.498					1.496					
		1.5					1.496					
		1.502					1.5					
		1.5					1.498					
257	3.14	1.5	1.499	1.764	1.780	3.11	1.496	1.499	1.763	1.764	-0.08%	
		1.496					1.5					
		1.498					1.5					
		1.498					1.498					
258	3.14	1.5	1.499	1.764	1.780	3.11	1.5	1.498	1.761	1.766	-0.16%	
		1.498					1.498					
		1.5					1.5					
		1.498					1.498					
		1.5					1.498					
259	3.15	1.5	1.500	1.769	1.781	3.12	1.5	1.500	1.769	1.764	0.00%	
		1.5					1.502					
		1.498					1.498					
		1.502					1.5					
		1.5					1.498					
260	3.14	1.5	1.500	1.767	1.777	3.11	1.498	1.500	1.766	1.761	-0.08%	
		1.5					1.5					
		1.498					1.502					

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
261	3.13	1.5	1.498	1.760	1.778	3.10	1.44	1.440	1.565	1.981	-11.10%
		1.498					1.438				
		1.496					1.442				
		1.496					1.442				
		1.5					1.442				
262	3.13	1.496	1.497	1.757	1.781	3.10	1.44	1.440	1.563	1.983	-11.03%
		1.498					1.438				
		1.5					1.44				
		1.496					1.442				
		1.496					1.44				
263	3.14	1.5	1.498	1.761	1.783	3.11	1.442	1.441	1.567	1.984	-11.02%
		1.498					1.442				
		1.496					1.442				
		1.498					1.442				
		1.5					1.44				
264	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.11	1.44	1.442	1.569	1.983	-11.09%
		1.498					1.442				
		1.5					1.444				
		1.5					1.44				
		1.5					1.442				
265	3.14	1.496	1.498	1.761	1.783	3.10	1.442	1.441	1.566	1.979	-11.09%
		1.498					1.442				
		1.5					1.44				
		1.5					1.44				
		1.498					1.44				
266	3.12	1.496	1.496	1.753	1.780	3.09	1.438	1.439	1.560	1.981	-11.04%
		1.498					1.438				
		1.496					1.44				
		1.494					1.44				
		1.496					1.438				
267	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.11	1.44	1.442	1.570	1.981	-11.09%
		1.5					1.444				
		1.502					1.44				
		1.498					1.442				
		1.5					1.444				
268	3.16	1.502	1.501	1.771	1.784	3.12	1.442	1.444	1.575	1.981	-11.07%
		1.502					1.446				
		1.5					1.444				
		1.502					1.442				
		1.5					1.444				
269	3.14	1.5	1.498	1.761	1.783	3.10	1.442	1.441	1.567	1.978	-11.02%
		1.498					1.442				
		1.5					1.44				
		1.498					1.44				
		1.496					1.442				
270	3.12	1.498	1.497	1.757	1.775	3.09	1.438	1.439	1.561	1.980	-11.18%
		1.498					1.438				
		1.496					1.442				
		1.498					1.438				
		1.496					1.44				

		1.502					1.442				
		1.5					1.44				
271	3.15	1.5	1.500	1.769	1.781	3.12	1.446	1.443	1.573	1.984	-11.08%
		1.498					1.442				
		1.502					1.444				
		1.502					1.442				
		1.5					1.442				
272	3.15	1.502	1.500	1.769	1.781	3.12	1.444	1.443	1.574	1.982	-11.01%
		1.5					1.442				
		1.498					1.446				
		1.498					1.44				
		1.496					1.442				
273	3.14	1.5	1.500	1.766	1.778	3.11	1.444	1.442	1.570	1.981	-11.09%
		1.502					1.44				
		1.502					1.444				
		1.5					1.442				
		1.498					1.442				
274	3.14	1.498	1.499	1.763	1.781	3.11	1.442	1.442	1.569	1.983	-11.02%
		1.5					1.44				
		1.498					1.442				
		1.5					1.44				
		1.498					1.438				
275	3.13	1.496	1.498	1.761	1.777	3.10	1.44	1.441	1.566	1.979	-11.09%
		1.498					1.442				
		1.5					1.444				
		1.5					1.44				
		1.498					1.442				
276	3.14	1.5	1.498	1.761	1.783	3.11	1.442	1.441	1.566	1.986	-11.09%
		1.498					1.438				
		1.498					1.442				
		1.496					1.442				
		1.5					1.442				
277	3.14	1.498	1.499	1.764	1.780	3.11	1.444	1.442	1.570	1.981	-11.01%
		1.5					1.44				
		1.498					1.444				
		1.5					1.44				
		1.498					1.444				
278	3.14	1.5	1.499	1.764	1.780	3.11	1.444	1.442	1.569	1.983	-11.09%
		1.498					1.438				
		1.5					1.44				
		1.496					1.442				
		1.502					1.444				
		1.5					1.44				
		1.498					1.442				
279	3.14	1.5	1.499	1.764	1.780	3.11	1.44	1.441	1.567	1.984	-11.16%
		1.498					1.442				
		1.5					1.442				
		1.5					1.444				
		1.502					1.446				
280	3.16	1.502	1.502	1.773	1.782	3.13	1.446	1.444	1.577	1.985	-11.07%
		1.5					1.44				
		1.504					1.444				

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Antes de la Calcificación					Después de la calcinación					Cambio volumétrico
	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
281	3.13	1.498	1.499	1.764	1.774	3.10	1.412	1.410	1.469	2.110	-16.74%
		1.502					1.408				
		1.5					1.41				
		1.5					1.41				
		1.496					1.412				
282	3.14	1.498	1.500	1.766	1.778	3.09	1.406	1.408	1.462	2.114	-17.23%
		1.498					1.408				
		1.5					1.406				
		1.5					1.41				
		1.502					1.41				
283	3.16	1.5	1.502	1.774	1.781	3.10	1.41	1.410	1.468	2.112	-17.27%
		1.504					1.412				
		1.5					1.41				
		1.502					1.41				
		1.504					1.408				
284	3.15	1.498	1.500	1.769	1.781	3.10	1.41	1.410	1.467	2.114	-17.08%
		1.502					1.408				
		1.5					1.41				
		1.5					1.412				
		1.502					1.408				
285	3.16	1.498	1.498	1.761	1.794	3.10	1.408	1.409	1.465	2.116	-16.82%
		1.498					1.412				
		1.5					1.41				
		1.5					1.41				
		1.496					1.408				
286	3.16	1.498	1.500	1.767	1.788	3.10	1.41	1.410	1.469	2.110	-16.87%
		1.502					1.412				
		1.5					1.408				
		1.5					1.412				
		1.5					1.41				
287	3.15	1.502	1.502	1.773	1.777	3.12	1.41	1.412	1.473	2.118	-16.92%
		1.5					1.412				
		1.5					1.412				
		1.504					1.41				
		1.502					1.414				
288	3.13	1.502	1.502	1.773	1.766	3.10	1.414	1.410	1.469	2.110	-17.14%
		1.5					1.412				
		1.504					1.41				
		1.5					1.41				
		1.502					1.408				
289	3.13	1.498	1.500	1.766	1.773	3.10	1.41	1.410	1.469	2.110	-16.80%
		1.5					1.412				
		1.5					1.408				
		1.5					1.41				
		1.5					1.412				
290	3.12	1.496	1.498	1.760	1.773	3.09	1.408	1.408	1.463	2.112	-16.89%
		1.5					1.406				
		1.496					1.41				
		1.498					1.408				
		1.5					1.41				

291	3.11	1.496	1.497	1.757	1.770	3.08	1.406	1.407	1.458	2.113	-17.04%
		1.496					1.408				
		1.5					1.406				
		1.498					1.406				
		1.496					1.408				
292	3.12	1.498	1.499	1.763	1.770	3.09	1.406	1.408	1.460	2.116	-17.17%
		1.5					1.408				
		1.498					1.408				
		1.498					1.41				
		1.5					1.406				
293	3.14	1.5	1.499	1.763	1.781	3.11	1.41	1.409	1.465	2.122	-16.88%
		1.5					1.408				
		1.496					1.41				
		1.498					1.41				
		1.5					1.408				
294	3.12	1.5	1.498	1.759	1.774	3.09	1.408	1.408	1.460	2.116	-16.97%
		1.498					1.408				
		1.496					1.406				
		1.498					1.406				
		1.496					1.41				
295	3.13	1.502	1.499	1.764	1.774	3.09	1.406	1.408	1.463	2.112	-17.09%
		1.5					1.408				
		1.5					1.412				
		1.498					1.41				
		1.496					1.406				
296	3.11	1.498	1.498	1.760	1.767	3.07	1.406	1.406	1.457	2.108	-17.25%
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
		1.496					1.404				
		1.498					1.408				
297	3.13	1.502	1.500	1.767	1.771	3.10	1.408	1.410	1.467	2.114	-17.01%
		1.5					1.41				
		1.5					1.412				
		1.5					1.41				
		1.498					1.408				
298	3.12	1.498	1.498	1.759	1.774	3.09	1.41	1.408	1.462	2.114	-16.90%
		1.496					1.406				
		1.496					1.408				
		1.498					1.406				
		1.5					1.41				
299	3.13	1.5	1.499	1.763	1.775	3.10	1.41	1.410	1.467	2.114	-16.81%
		1.5					1.408				
		1.496					1.408				
		1.498					1.412				
		1.5					1.41				
300	3.13	1.5	1.501	1.770	1.768	3.10	1.408	1.410	1.468	2.112	-17.07%
		1.498					1.412				
		1.502					1.412				
		1.5					1.41				
		1.504					1.408				

## Arcilla de Lamay

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcificación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
301	3.49	1.504	1.502	1.776	1.965	3.48	1.502	1.502	1.773	1.963	-0.16%
		1.502									
		1.5									
		1.504									
		1.5									
302	3.48	1.5	1.500	1.766	1.971	3.46	1.498	1.499	1.764	1.961	-0.08%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.498									
303	3.48	1.5	1.500	1.767	1.969	3.46	1.502	1.500	1.766	1.960	-0.08%
		1.498									
		1.502									
		1.5									
		1.5									
304	3.48	1.502	1.500	1.769	1.968	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	-0.16%
		1.5									
		1.5									
		1.502									
		1.498									
305	3.47	1.498	1.500	1.769	1.962	3.46	1.5	1.500	1.767	1.958	-0.08%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.502									
306	3.48	1.498	1.500	1.766	1.971	3.47	1.5	1.500	1.766	1.965	0.00%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
		1.498									
307	3.48	1.502	1.500	1.767	1.969	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	-0.08%
		1.498									
		1.498									
		1.502									
		1.5									
308	3.47	1.502	1.500	1.769	1.962	3.47	1.5	1.500	1.766	1.965	-0.16%
		1.5									
		1.5									
		1.498									
		1.502									
309	3.47	1.5	1.499	1.763	1.968	3.45	1.498	1.498	1.761	1.959	-0.08%
		1.498									
		1.5									
		1.498									
		1.498									
310	3.47	1.502	1.501	1.770	1.960	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	-0.16%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.498									

		1.502					1.498				
		1.498					1.498				
311	3.47	1.5	1.500	1.766	1.965	3.46	1.5	1.499	1.763	1.963	-0.16%
		1.498					1.5				
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
		1.502					1.498				
312	3.47	1.498	1.499	1.764	1.967	3.46	1.498	1.499	1.764	1.961	0.00%
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.5					1.5				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
313	3.47	1.498	1.500	1.766	1.965	3.45	1.498	1.499	1.763	1.957	-0.16%
		1.498					1.5				
		1.502					1.498				
		1.502					1.5				
		1.498					1.498				
314	3.47	1.504	1.501	1.770	1.960	3.47	1.504	1.500	1.769	1.962	-0.08%
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				
		1.502					1.5				
		1.498					1.5				
315	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	-0.08%
		1.498					1.498				
		1.502					1.5				
		1.498					1.5				
		1.502					1.498				
316	3.46	1.498	1.499	1.764	1.961	3.45	1.498	1.499	1.763	1.957	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.498					1.498				
		1.5					1.498				
		1.502					1.498				
317	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	3.45	1.498	1.499	1.763	1.957	-0.16%
		1.498					1.5				
		1.5					1.5				
		1.502					1.498				
		1.498					1.498				
318	3.46	1.498	1.499	1.764	1.961	3.46	1.5	1.499	1.763	1.963	-0.08%
		1.5					1.498				
		1.5					1.498				
		1.502					1.5				
		1.498					1.5				
319	3.47	1.502	1.500	1.767	1.964	3.46	1.498	1.499	1.764	1.961	-0.16%
		1.5					1.498				
		1.498					1.5				
		1.502					1.502				
		1.5					1.498				
320	3.48	1.502	1.501	1.770	1.966	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	-0.16%
		1.5					1.5				
		1.5					1.5				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
321	3.49	1.502	1.502	1.774	1.967	3.45	1.484	1.485	1.714	2.013	-3.40%
		1.504					1.484				
		1.502					1.486				
		1.5					1.486				
		1.502					1.484				
322	3.47	1.498	1.499	1.763	1.968	3.43	1.482	1.481	1.702	2.016	-3.48%
		1.498					1.48				
		1.498					1.482				
		1.5					1.482				
		1.5					1.48				
323	3.48	1.498	1.500	1.766	1.971	3.44	1.482	1.482	1.704	2.018	-3.48%
		1.5					1.482				
		1.498					1.482				
		1.502					1.482				
		1.5					1.484				
324	3.47	1.496	1.498	1.761	1.970	3.43	1.482	1.481	1.702	2.016	-3.40%
		1.498					1.48				
		1.5					1.482				
		1.498					1.482				
		1.5					1.48				
325	3.47	1.5	1.498	1.761	1.970	3.43	1.48	1.481	1.702	2.016	-3.40%
		1.496					1.482				
		1.498					1.482				
		1.498					1.482				
		1.5					1.482				
326	3.50	1.502	1.502	1.774	1.973	3.46	1.486	1.484	1.713	2.020	-3.47%
		1.504					1.484				
		1.5					1.484				
		1.502					1.482				
		1.502					1.486				
327	3.48	1.498	1.500	1.767	1.969	3.44	1.484	1.482	1.706	2.017	-3.48%
		1.5					1.482				
		1.502					1.48				
		1.5					1.484				
		1.5					1.482				
328	3.46	1.498	1.497	1.757	1.969	3.42	1.478	1.480	1.697	2.015	-3.41%
		1.498					1.48				
		1.496					1.48				
		1.496					1.482				
		1.498					1.48				
329	3.47	1.498	1.498	1.761	1.970	3.44	1.482	1.481	1.702	2.022	-3.40%
		1.5					1.482				
		1.5					1.48				
		1.496					1.482				
		1.498					1.48				
330	3.47	1.5	1.499	1.764	1.967	3.43	1.48	1.482	1.703	2.014	-3.48%
		1.5					1.482				
		1.498					1.482				
		1.498					1.482				
		1.5					1.482				

		1.498					1.484					
		1.498					1.482					
331	3.48	1.5	1.500	1.766	1.971	3.44	1.482	1.482	1.706	2.017	-3.40%	
		1.502					1.48					
		1.5					1.484					
		1.502					1.482					
		1.498					1.482					
332	3.47	1.496	1.499	1.763	1.968	3.43	1.48	1.481	1.702	2.016	-3.48%	
		1.5					1.48					
		1.498					1.482					
		1.5					1.484					
		1.502					1.486					
333	3.49	1.502	1.502	1.773	1.969	3.45	1.482	1.484	1.711	2.016	-3.48%	
		1.504					1.484					
		1.5					1.484					
		1.498					1.482					
		1.498					1.48					
334	3.47	1.5	1.499	1.763	1.968	3.44	1.482	1.481	1.702	2.022	-3.48%	
		1.5					1.482					
		1.498					1.48					
		1.498					1.48					
335	3.46	1.496	1.498	1.759	1.967	3.43	1.478	1.480	1.699	2.019	-3.41%	
		1.496					1.482					
		1.5					1.482					
		1.496					1.478					
		1.498					1.48					
336	3.46	1.5	1.497	1.757	1.969	3.42	1.482	1.480	1.696	2.016	-3.49%	
		1.496					1.48					
		1.496					1.48					
		1.496					1.478					
		1.5					1.48					
337	3.45	1.498	1.497	1.757	1.963	3.42	1.478	1.480	1.697	2.015	-3.41%	
		1.496					1.48					
		1.498					1.482					
		1.494					1.48					
		1.496					1.482					
338	3.46	1.5	1.498	1.760	1.966	3.43	1.478	1.481	1.700	2.017	-3.41%	
		1.5					1.48					
		1.496					1.482					
		1.498					1.482					
		1.5					1.482					
		1.5					1.48					
339	3.47	1.498	1.499	1.764	1.967	3.44	1.48	1.482	1.703	2.020	-3.48%	
		1.498					1.484					
		1.5					1.482					
		1.502					1.482					
		1.5					1.484					
340	3.48	1.502	1.501	1.770	1.966	3.45	1.484	1.484	1.710	2.018	-3.40%	
		1.5					1.484					
		1.5					1.482					
		1.5					1.486					

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
341	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	3.43	1.43	1.429	1.529	2.244	-13.43%
		1.5					1.43				
		1.5					1.428				
		1.5					1.43				
		1.5					1.428				
342	3.46	1.498	1.499	1.763	1.963	3.44	1.43	1.430	1.531	2.247	-13.15%
		1.5					1.428				
		1.498					1.43				
		1.5					1.43				
		1.498					1.43				
343	3.47	1.502	1.500	1.769	1.962	3.44	1.428	1.430	1.531	2.247	-13.43%
		1.5					1.432				
		1.498					1.428				
		1.502					1.43				
		1.502					1.43				
344	3.46	1.502	1.501	1.770	1.955	3.45	1.43	1.431	1.535	2.248	-13.28%
		1.502					1.43				
		1.5					1.434				
		1.5					1.43				
		1.5					1.432				
345	3.47	1.502	1.500	1.769	1.962	3.44	1.43	1.430	1.531	2.247	-13.43%
		1.5					1.428				
		1.502					1.432				
		1.5					1.43				
		1.498					1.43				
346	3.48	1.502	1.501	1.770	1.966	3.45	1.43	1.431	1.534	2.249	-13.35%
		1.5					1.432				
		1.5					1.432				
		1.5					1.43				
		1.502					1.43				
347	3.47	1.502	1.500	1.767	1.964	3.44	1.428	1.430	1.531	2.247	-13.36%
		1.5					1.434				
		1.5					1.43				
		1.498					1.428				
		1.5					1.43				
348	3.47	1.5	1.500	1.769	1.962	3.44	1.432	1.430	1.532	2.245	-13.35%
		1.498					1.432				
		1.5					1.43				
		1.502					1.43				
		1.502					1.428				
349	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	3.45	1.43	1.431	1.534	2.249	-13.21%
		1.5					1.432				
		1.498					1.432				
		1.5					1.43				
		1.502					1.43				
350	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	3.44	1.428	1.430	1.530	2.249	-13.36%
		1.5					1.43				
		1.5					1.432				
		1.498					1.428				
		1.5					1.43				

351	3.47	1.502	1.499	1.764	1.967	3.43	1.428	1.429	1.529	2.244	-13.36%
		1.498					1.428				
		1.5					1.432				
		1.498					1.428				
		1.498					1.43				
352	3.47	1.502	1.500	1.767	1.964	3.44	1.428	1.431	1.534	2.243	-13.21%
		1.498					1.432				
		1.5					1.432				
		1.498					1.43				
		1.502					1.432				
353	3.47	1.502	1.501	1.770	1.960	3.45	1.43	1.431	1.535	2.248	-13.28%
		1.5					1.43				
		1.502					1.432				
		1.5					1.432				
		1.5					1.432				
354	3.48	1.498	1.500	1.767	1.969	3.44	1.43	1.430	1.531	2.247	-13.36%
		1.502					1.43				
		1.5					1.43				
		1.5					1.43				
		1.5					1.43				
355	3.47	1.5	1.500	1.769	1.962	3.45	1.432	1.430	1.531	2.253	-13.43%
		1.5					1.43				
		1.5					1.428				
		1.502					1.428				
		1.5					1.432				
356	3.48	1.498	1.499	1.764	1.972	3.44	1.428	1.430	1.531	2.247	-13.22%
		1.498					1.43				
		1.502					1.43				
		1.498					1.432				
		1.5					1.43				
357	3.46	1.5	1.500	1.767	1.958	3.44	1.428	1.430	1.531	2.247	-13.36%
		1.502					1.43				
		1.5					1.43				
		1.498					1.432				
		1.5					1.43				
358	3.47	1.5	1.501	1.770	1.960	3.45	1.432	1.431	1.534	2.249	-13.35%
		1.502					1.43				
		1.5					1.432				
		1.502					1.43				
		1.5					1.43				
359	3.47	1.502	1.500	1.769	1.962	3.45	1.428	1.431	1.534	2.249	-13.28%
		1.5					1.432				
		1.5					1.43				
		1.498					1.432				
		1.502					1.432				
360	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	3.44	1.43	1.430	1.530	2.249	-13.43%
		1.498					1.43				
		1.502					1.428				
		1.5					1.43				
		1.5					1.43				

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Antes de la Calcificación					Después de la calcinación					Cambio volumétrico
	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
361	3.47	1.5	1.499	1.764	1.967	3.44	1.424	1.421	1.503	2.289	-14.81%
		1.498					1.42				
		1.5					1.422				
		1.498					1.42				
		1.498					1.42				
362	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	3.43	1.418	1.421	1.503	2.282	-14.88%
		1.496					1.422				
		1.5					1.42				
		1.502					1.424				
		1.502					1.422				
363	3.47	1.5	1.500	1.766	1.965	3.44	1.422	1.422	1.504	2.287	-14.81%
		1.5					1.422				
		1.5					1.422				
		1.498					1.42				
		1.498					1.422				
364	3.46	1.5	1.499	1.763	1.963	3.43	1.42	1.421	1.502	2.284	-14.81%
		1.498					1.418				
		1.496					1.42				
		1.498					1.424				
		1.502					1.422				
365	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	3.43	1.422	1.422	1.504	2.280	-14.81%
		1.5					1.42				
		1.498					1.422				
		1.502					1.42				
		1.498					1.424				
366	3.48	1.502	1.500	1.769	1.968	3.44	1.422	1.422	1.507	2.283	-14.80%
		1.5					1.422				
		1.5					1.422				
		1.5					1.426				
		1.5					1.42				
367	3.47	1.498	1.500	1.766	1.965	3.44	1.422	1.422	1.506	2.285	-14.73%
		1.5					1.424				
		1.502					1.42				
		1.498					1.422				
		1.5					1.422				
368	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	3.44	1.422	1.422	1.507	2.283	-14.73%
		1.498					1.424				
		1.498					1.42				
		1.502					1.422				
		1.502					1.424				
369	3.47	1.502	1.500	1.767	1.964	3.44	1.424	1.422	1.504	2.287	-14.87%
		1.5					1.424				
		1.5					1.422				
		1.498					1.418				
		1.5					1.42				
370	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	3.44	1.422	1.422	1.506	2.285	-14.73%
		1.5					1.422				
		1.502					1.42				
		1.498					1.422				
		1.5					1.424				

		1.502					1.424					
		1.502					1.42					
371	3.47	1.498	1.501	1.770	1.960	3.44	1.422	1.423	1.508	2.281	-14.80%	
		1.5					1.424					
		1.502					1.424					
		1.502					1.424					
		1.498					1.424					
372	3.47	1.5	1.500	1.766	1.965	3.43	1.42	1.422	1.504	2.280	-14.81%	
		1.498					1.422					
		1.5					1.418					
		1.496					1.418					
		1.496					1.418					
373	3.45	1.496	1.497	1.757	1.963	3.42	1.42	1.420	1.498	2.283	-14.76%	
		1.498					1.42					
		1.5					1.422					
		1.5					1.42					
		1.498					1.422					
374	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	3.44	1.422	1.422	1.504	2.287	-14.81%	
		1.498					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					
		1.498					1.422					
375	3.45	1.5	1.499	1.763	1.957	3.43	1.422	1.421	1.502	2.284	-14.81%	
		1.5					1.418					
		1.496					1.42					
		1.498					1.422					
		1.5					1.422					
376	3.46	1.5	1.499	1.764	1.961	3.43	1.42	1.422	1.504	2.280	-14.74%	
		1.498					1.422					
		1.5					1.422					
		1.498					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.42					
		1.498					1.418					
377	3.45	1.496	1.498	1.759	1.962	3.42	1.418	1.420	1.499	2.281	-14.75%	
		1.496					1.42					
		1.498					1.424					
		1.502					1.422					
		1.5					1.42					
378	3.47	1.498	1.500	1.767	1.964	3.43	1.422	1.422	1.504	2.280	-14.87%	
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.424					
		1.502					1.424					
379	3.48	1.5	1.501	1.771	1.965	3.45	1.42	1.423	1.509	2.286	-14.79%	
		1.502					1.424					
		1.502					1.424					
		1.504					1.422					
		1.5					1.424					
380	3.47	1.5	1.501	1.770	1.960	3.44	1.424	1.423	1.508	2.281	-14.80%	
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					
		1.5					1.422					

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
381	3.46	1.498	1.500	1.766	1.960	3.43	1.406	1.408	1.460	2.349	-17.30%
		1.498					1.408				
		1.5					1.406				
		1.502					1.41				
		1.5					1.408				
382	3.46	1.502	1.500	1.767	1.958	3.42	1.41	1.408	1.462	2.340	-17.29%
		1.502					1.41				
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
383	3.47	1.498	1.500	1.769	1.962	3.44	1.406	1.408	1.463	2.352	-17.29%
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				
		1.502					1.41				
		1.502					1.41				
384	3.46	1.5	1.500	1.766	1.960	3.43	1.408	1.408	1.460	2.349	-17.30%
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				
385	3.47	1.502	1.500	1.767	1.964	3.44	1.41	1.408	1.462	2.354	-17.29%
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
386	3.48	1.5	1.501	1.771	1.965	3.43	1.408	1.408	1.463	2.345	-17.42%
		1.502					1.406				
		1.5					1.408				
		1.502					1.41				
		1.502					1.41				
387	3.47	1.498	1.499	1.764	1.967	3.44	1.406	1.407	1.459	2.358	-17.30%
		1.502					1.41				
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
388	3.47	1.498	1.500	1.766	1.965	3.43	1.406	1.407	1.458	2.353	-17.44%
		1.502					1.406				
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
389	3.47	1.502	1.500	1.769	1.962	3.43	1.41	1.408	1.463	2.345	-17.29%
		1.502					1.41				
		1.5					1.408				
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
390	3.47	1.5	1.500	1.767	1.964	3.42	1.408	1.407	1.459	2.344	-17.44%
		1.502					1.406				
		1.498					1.406				
		1.5					1.408				
		1.5					1.408				

			1.498				1.406					
			1.5				1.408					
391	3.47		1.502	1.500	1.767	1.964	3.42	1.406	1.407	1.459	2.344	-17.44%
			1.502					1.41				
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
392	3.47		1.502	1.500	1.767	1.964	3.43	1.408	1.408	1.462	2.347	-17.29%
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
			1.502					1.41				
393	3.47		1.502	1.501	1.770	1.960	3.43	1.408	1.408	1.463	2.345	-17.36%
			1.5					1.408				
			1.5					1.408				
			1.502					1.41				
394	3.48		1.502	1.501	1.771	1.965	3.43	1.408	1.409	1.464	2.343	-17.35%
			1.5					1.408				
			1.502					1.408				
			1.502					1.41				
395	3.47		1.502	1.501	1.770	1.960	3.43	1.41	1.409	1.464	2.343	-17.29%
			1.498					1.406				
			1.502					1.41				
			1.5					1.408				
			1.502					1.41				
396	3.48		1.502	1.500	1.769	1.968	3.43	1.408	1.408	1.463	2.345	-17.29%
			1.5					1.408				
			1.5					1.408				
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
397	3.46		1.498	1.499	1.764	1.961	3.42	1.408	1.407	1.459	2.344	-17.30%
			1.5					1.406				
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
			1.502					1.408				
398	3.46		1.498	1.499	1.764	1.961	3.43	1.406	1.407	1.458	2.353	-17.37%
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
			1.498					1.406				
			1.502					1.41				
399	3.47		1.498	1.500	1.766	1.965	3.43	1.404	1.407	1.459	2.351	-17.37%
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
			1.502					1.41				
400	3.46		1.498	1.499	1.764	1.961	3.43	1.406	1.407	1.459	2.351	-17.30%
			1.5					1.408				
			1.498					1.406				
			1.5					1.408				
			1.498					1.406				

## Arcilla de Izcuchaca

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
401	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.19	1.42	1.422	1.506	2.119	-14.73%
		1.5					1.424				
		1.498					1.424				
		1.502					1.422				
		1.502					1.426				
402	3.24	1.5	1.502	1.774	1.826	3.20	1.424	1.424	1.513	2.115	-14.71%
		1.504					1.424				
		1.502					1.422				
		1.502					1.426				
		1.502					1.424				
403	3.21	1.5	1.500	1.769	1.815	3.18	1.422	1.422	1.507	2.110	-14.80%
		1.504					1.422				
		1.5					1.424				
		1.5					1.42				
		1.498					1.424				
404	3.21	1.498	1.499	1.763	1.821	3.18	1.42	1.422	1.504	2.114	-14.67%
		1.5					1.42				
		1.498					1.424				
		1.498					1.424				
		1.5					1.422				
405	3.21	1.502	1.500	1.766	1.818	3.18	1.424	1.422	1.504	2.114	-14.81%
		1.5					1.42				
		1.502					1.422				
		1.498					1.422				
		1.496					1.42				
406	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.19	1.422	1.422	1.507	2.117	-14.80%
		1.498					1.424				
		1.5					1.424				
		1.502					1.42				
		1.502					1.422				
407	3.21	1.504	1.500	1.767	1.816	3.18	1.42	1.422	1.504	2.114	-14.87%
		1.5					1.424				
		1.498					1.422				
		1.498					1.422				
		1.5					1.42				
408	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.18	1.424	1.422	1.506	2.112	-14.87%
		1.498					1.42				
		1.502					1.422				
		1.502					1.42				
		1.5					1.424				
409	3.24	1.504	1.502	1.776	1.825	3.20	1.424	1.424	1.512	2.117	-14.85%
		1.502					1.422				
		1.502					1.426				
		1.5					1.424				
		1.504					1.424				
410	3.22	1.502	1.502	1.774	1.815	3.19	1.422	1.424	1.511	2.112	-14.86%
		1.502					1.426				
		1.5					1.424				
		1.504					1.424				
		1.502					1.422				

			1.502						1.426			
			1.5						1.422			
411	3.22		1.504	1.501	1.771	1.818	3.19	1.422	1.423	1.508	2.115	-14.86%
			1.5						1.424			
			1.5						1.42			
			1.496						1.422			
			1.498						1.42			
412	3.21		1.5	1.499	1.763	1.821	3.18	1.418	1.420	1.500	2.119	-14.89%
			1.5						1.42			
			1.5						1.422			
			1.504						1.422			
			1.5						1.424			
413	3.22		1.5	1.501	1.771	1.818	3.19	1.422	1.423	1.508	2.115	-14.86%
			1.502						1.424			
			1.5						1.422			
			1.502						1.42			
			1.5						1.422			
			1.502						1.42			
			1.5						1.422			
414	3.22		1.498	1.500	1.767	1.822	3.19	1.424	1.422	1.506	2.119	-14.80%
			1.5						1.424			
			1.5						1.42			
			1.498						1.42			
			1.498						1.42			
415	3.21		1.5	1.499	1.763	1.821	3.18	1.422	1.420	1.500	2.119	-14.89%
			1.498						1.422			
			1.5						1.418			
			1.5						1.424			
			1.504						1.424			
416	3.22		1.502	1.501	1.771	1.818	3.19	1.424	1.423	1.509	2.113	-14.79%
			1.502						1.422			
			1.498						1.422			
			1.5						1.42			
			1.5						1.422			
417	3.21		1.498	1.500	1.766	1.818	3.18	1.422	1.422	1.504	2.114	-14.81%
			1.5						1.42			
			1.5						1.424			
			1.498						1.424			
			1.5						1.42			
418	3.21		1.502	1.500	1.767	1.816	3.18	1.424	1.422	1.506	2.112	-14.80%
			1.498						1.422			
			1.502						1.42			
			1.5						1.422			
			1.498						1.422			
419	3.21		1.5	1.500	1.766	1.818	3.18	1.422	1.421	1.503	2.116	-14.88%
			1.5						1.42			
			1.5						1.42			
			1.502						1.424			
			1.5						1.424			
420	3.23		1.502	1.502	1.774	1.821	3.19	1.422	1.424	1.511	2.112	-14.86%
			1.502						1.424			
			1.504						1.424			

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
421	3.22	1.498	1.500	1.769	1.821	3.19	1.416	1.416	1.488	2.144	-15.87%
		1.502					1.414				
		1.5					1.418				
		1.502					1.416				
422	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.20	1.416	1.417	1.489	2.149	-15.87%
		1.5					1.416				
		1.5					1.418				
		1.502					1.416				
423	3.23	1.502	1.500	1.769	1.826	3.18	1.418	1.416	1.488	2.137	-15.87%
		1.5					1.416				
		1.498					1.418				
		1.5					1.414				
424	3.22	1.502	1.500	1.766	1.824	3.18	1.416	1.416	1.485	2.141	-15.88%
		1.498					1.416				
		1.5					1.414				
		1.5					1.416				
425	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.18	1.416	1.416	1.485	2.141	-15.81%
		1.5					1.416				
		1.498					1.414				
		1.5					1.416				
426	3.23	1.498	1.501	1.771	1.823	3.19	1.416	1.417	1.490	2.140	-15.86%
		1.5					1.416				
		1.502					1.418				
		1.5					1.418				
427	3.21	1.502	1.500	1.767	1.816	3.18	1.414	1.416	1.487	2.139	-15.88%
		1.5					1.416				
		1.498					1.416				
		1.5					1.418				
428	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.19	1.418	1.417	1.489	2.142	-15.87%
		1.498					1.416				
		1.502					1.418				
		1.502					1.416				
429	3.21	1.502	1.499	1.764	1.819	3.18	1.414	1.415	1.484	2.143	-15.88%
		1.5					1.416				
		1.498					1.414				
		1.498					1.418				
430	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.19	1.414	1.416	1.488	2.144	-15.87%
		1.502					1.418				
		1.498					1.418				
		1.502					1.416				

			1.502				1.418					
			1.5				1.418					
431	3.21		1.502	1.501	1.770	1.814	3.18	1.416	1.416	1.488	2.137	-15.94%
			1.5					1.414				
			1.5					1.416				
			1.498					1.416				
			1.502					1.414				
432	3.21		1.5	1.500	1.767	1.816	3.18	1.418	1.416	1.488	2.137	-15.81%
			1.498					1.416				
			1.502					1.418				
			1.5					1.416				
			1.5					1.418				
433	3.21		1.5	1.500	1.766	1.818	3.18	1.414	1.416	1.485	2.141	-15.88%
			1.502					1.416				
			1.496					1.414				
			1.498					1.414				
			1.498					1.418				
434	3.20		1.5	1.500	1.766	1.812	3.19	1.416	1.416	1.487	2.146	-15.81%
			1.502					1.414				
			1.5					1.418				
			1.5					1.418				
			1.502					1.418				
435	3.22		1.502	1.501	1.771	1.818	3.19	1.416	1.417	1.490	2.140	-15.86%
			1.502					1.416				
			1.5					1.418				
			1.5					1.414				
			1.498					1.416				
436	3.22		1.5	1.500	1.767	1.822	3.19	1.416	1.416	1.487	2.146	-15.88%
			1.502					1.418				
			1.5					1.416				
			1.504					1.418				
			1.5					1.414				
437	3.21		1.502	1.501	1.770	1.814	3.19	1.418	1.416	1.488	2.144	-15.94%
			1.498					1.416				
			1.5					1.416				
			1.5					1.416				
			1.5					1.414				
438	3.21		1.5	1.500	1.766	1.818	3.18	1.418	1.416	1.485	2.141	-15.88%
			1.498					1.416				
			1.5					1.414				
			1.5					1.416				
			1.498					1.414				
439	3.21		1.5	1.500	1.766	1.818	3.18	1.414	1.416	1.487	2.139	-15.81%
			1.5					1.418				
			1.5					1.418				
			1.502					1.416				
			1.5					1.418				
440	3.23		1.502	1.501	1.771	1.823	3.19	1.418	1.418	1.492	2.139	-15.79%
			1.502					1.418				
			1.5					1.418				

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
441	3.23	1.504	1.501	1.770	1.825	3.19	1.412	1.414	1.480	2.155	-16.37%
		1.5					1.414				
		1.502					1.414				
		1.498					1.414				
		1.5					1.414				
442	3.22	1.498	1.500	1.766	1.824	3.20	1.412	1.413	1.478	2.165	-16.31%
		1.5					1.414				
		1.498					1.414				
		1.502					1.414				
		1.5					1.414				
443	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.19	1.414	1.414	1.482	2.153	-16.30%
		1.502					1.416				
		1.5					1.412				
		1.502					1.416				
		1.498					1.414				
444	3.21	1.498	1.500	1.766	1.818	3.18	1.414	1.413	1.478	2.152	-16.31%
		1.498					1.414				
		1.502					1.412				
		1.5					1.412				
		1.5					1.414				
445	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.19	1.416	1.414	1.480	2.155	-16.30%
		1.498					1.414				
		1.5					1.416				
		1.502					1.412				
		1.5					1.412				
446	3.21	1.498	1.499	1.763	1.821	3.19	1.412	1.412	1.475	2.162	-16.32%
		1.498					1.412				
		1.498					1.412				
		1.498					1.412				
		1.502					1.412				
447	3.21	1.5	1.500	1.767	1.816	3.19	1.414	1.414	1.479	2.157	-16.30%
		1.502					1.412				
		1.5					1.416				
		1.5					1.414				
		1.498					1.412				
448	3.22	1.502	1.500	1.766	1.824	3.18	1.414	1.413	1.477	2.154	-16.38%
		1.5					1.412				
		1.498					1.412				
		1.5					1.412				
		1.498					1.414				
449	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.19	1.414	1.413	1.477	2.160	-16.31%
		1.498					1.412				
		1.5					1.414				
		1.5					1.412				
		1.5					1.412				
450	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.19	1.414	1.413	1.477	2.160	-16.38%
		1.502					1.412				
		1.498					1.414				
		1.5					1.412				
		1.498					1.412				

		1.5					1.412				
		1.498					1.414				
451	3.21	1.502	1.500	1.766	1.818	3.19	1.412	1.413	1.478	2.159	-16.31%
		1.498					1.414				
		1.5					1.414				
		1.498					1.412				
		1.5					1.412				
452	3.21	1.5	1.499	1.763	1.821	3.18	1.414	1.412	1.475	2.156	-16.32%
		1.498					1.412				
		1.498					1.412				
		1.502					1.418				
		1.502					1.414				
453	3.22	1.498	1.501	1.771	1.818	3.20	1.414	1.415	1.483	2.158	-16.29%
		1.504					1.416				
		1.5					1.412				
		1.5					1.414				
		1.502					1.412				
454	3.22	1.498	1.500	1.766	1.824	3.19	1.412	1.413	1.477	2.160	-16.38%
		1.5					1.412				
		1.498					1.414				
		1.502					1.412				
		1.498					1.416				
455	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.19	1.414	1.414	1.482	2.153	-16.30%
		1.502					1.416				
		1.502					1.414				
		1.5					1.412				
		1.502					1.41				
456	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.19	1.412	1.412	1.475	2.162	-16.38%
		1.498					1.414				
		1.496					1.414				
		1.502					1.414				
		1.5					1.412				
457	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.19	1.412	1.413	1.478	2.159	-16.37%
		1.5					1.414				
		1.498					1.414				
		1.498					1.412				
		1.5					1.412				
458	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.18	1.412	1.413	1.477	2.154	-16.31%
		1.5					1.414				
		1.498					1.414				
		1.498					1.414				
		1.502					1.412				
459	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.20	1.414	1.414	1.480	2.162	-16.30%
		1.5					1.414				
		1.502					1.416				
		1.502					1.412				
		1.5					1.416				
460	3.23	1.502	1.501	1.771	1.823	3.20	1.414	1.414	1.482	2.160	-16.36%
		1.502					1.414				
		1.5					1.416				

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
461	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.19	1.41	1.410	1.468	2.173	-16.94%
		1.502					1.408				
		1.5					1.41				
		1.498					1.412				
		1.502					1.41				
462	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.19	1.41	1.411	1.470	2.170	-16.93%
		1.502					1.412				
		1.5					1.412				
		1.5					1.412				
		1.502					1.41				
463	3.23	1.5	1.501	1.770	1.825	3.19	1.41	1.411	1.470	2.170	-16.93%
		1.502					1.41				
		1.5					1.412				
		1.5					1.412				
		1.502					1.41				
464	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.18	1.412	1.410	1.468	2.167	-16.94%
		1.502					1.408				
		1.498					1.41				
		1.502					1.408				
		1.498					1.412				
465	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.18	1.41	1.410	1.468	2.167	-16.94%
		1.498					1.41				
		1.502					1.41				
		1.5					1.408				
		1.5					1.412				
466	3.21	1.5	1.499	1.763	1.821	3.18	1.408	1.409	1.464	2.172	-16.95%
		1.498					1.41				
		1.502					1.408				
		1.496					1.408				
		1.498					1.41				
467	3.21	1.498	1.500	1.766	1.818	3.18	1.41	1.410	1.467	2.168	-16.95%
		1.498					1.41				
		1.5					1.412				
		1.5					1.41				
		1.502					1.408				
468	3.21	1.5	1.499	1.763	1.821	3.19	1.408	1.409	1.465	2.177	-16.88%
		1.5					1.408				
		1.498					1.41				
		1.498					1.408				
		1.498					1.412				
469	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.18	1.408	1.410	1.468	2.167	-16.94%
		1.498					1.41				
		1.502					1.412				
		1.498					1.41				
		1.502					1.41				
470	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.19	1.41	1.410	1.469	2.172	-17.00%
		1.5					1.412				
		1.5					1.41				
		1.5					1.41				
		1.502					1.41				

		1.5					1.408					
		1.5					1.408					
471	3.22	1.5	1.499	1.764	1.825	3.18	1.412	1.410	1.467	2.168	-16.88%	
		1.498					1.408					
		1.498					1.412					
		1.502					1.41					
		1.498					1.41					
472	3.23	1.504	1.501	1.770	1.825	3.18	1.412	1.410	1.469	2.165	-17.00%	
		1.5					1.408					
		1.5					1.412					
		1.502					1.41					
		1.498					1.412					
473	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.18	1.41	1.410	1.469	2.165	-16.94%	
		1.498					1.41					
		1.502					1.41					
		1.498					1.41					
		1.498					1.41					
		1.5					1.41					
474	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.19	1.408	1.409	1.465	2.177	-16.95%	
		1.5					1.408					
		1.5					1.41					
		1.502					1.408					
		1.498					1.412					
475	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.19	1.41	1.410	1.468	2.173	-16.94%	
		1.498					1.41					
		1.502					1.41					
		1.5					1.412					
		1.5					1.41					
476	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.19	1.412	1.410	1.469	2.172	-17.00%	
		1.502					1.41					
		1.5					1.408					
		1.502					1.406					
		1.5					1.412					
477	3.22	1.498	1.500	1.766	1.824	3.19	1.41	1.410	1.467	2.175	-16.95%	
		1.496					1.41					
		1.502					1.41					
		1.5					1.408					
		1.5					1.408					
478	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.18	1.41	1.410	1.467	2.168	-16.88%	
		1.498					1.41					
		1.498					1.412					
		1.5					1.412					
		1.5					1.41					
479	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.18	1.412	1.410	1.469	2.165	-17.00%	
		1.502					1.408					
		1.5					1.41					
		1.5					1.41					
		1.498					1.408					
480	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.19	1.408	1.409	1.465	2.177	-16.95%	
		1.5					1.41					
		1.5					1.41					

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
481	3.23	1.5	1.501	1.770	1.825	3.20	1.408	1.408	1.463	2.188	-17.36%
		1.5									
		1.502									
		1.502									
482	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.19	1.408	1.407	1.459	2.186	-17.30%
		1.498									
		1.5									
		1.5									
483	3.22	1.502	1.501	1.771	1.818	3.19	1.408	1.409	1.464	2.179	-17.35%
		1.5									
		1.502									
		1.502									
484	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.19	1.408	1.409	1.464	2.179	-17.29%
		1.5									
		1.5									
		1.502									
485	3.22	1.498	1.500	1.766	1.824	3.19	1.408	1.408	1.460	2.185	-17.30%
		1.5									
		1.5									
		1.5									
486	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.18	1.406	1.407	1.458	2.181	-17.37%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
487	3.22	1.498	1.500	1.767	1.822	3.19	1.41	1.408	1.460	2.185	-17.37%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
488	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.18	1.408	1.407	1.458	2.181	-17.37%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
489	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.19	1.406	1.407	1.459	2.186	-17.37%
		1.498									
		1.5									
		1.5									
490	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.19	1.408	1.407	1.459	2.186	-17.30%
		1.5									
		1.496									
		1.5									

		1.498					1.408					
		1.502					1.406					
491	3.22	1.498	1.500	1.769	1.821	3.19	1.41	1.408	1.462	2.183	-17.36%	
		1.502					1.408					
		1.502					1.408					
		1.5					1.41					
		1.502					1.406					
492	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.20	1.408	1.408	1.463	2.188	-17.36%	
		1.502					1.408					
		1.5					1.41					
		1.5					1.408					
		1.5					1.408					
493	3.22	1.498	1.500	1.767	1.822	3.20	1.408	1.408	1.462	2.189	-17.29%	
		1.502					1.408					
		1.5					1.408					
		1.498					1.406					
		1.5					1.406					
494	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.19	1.408	1.407	1.459	2.186	-17.30%	
		1.502					1.406					
		1.496					1.41					
		1.498					1.406					
		1.498					1.408					
495	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.19	1.406	1.408	1.460	2.185	-17.30%	
		1.502					1.41					
		1.5					1.408					
		1.5					1.406					
		1.5					1.408					
496	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.19	1.406	1.407	1.458	2.188	-17.37%	
		1.498					1.406					
		1.5					1.408					
		1.502					1.408					
		1.498					1.408					
497	3.22	1.502	1.500	1.767	1.822	3.19	1.408	1.408	1.460	2.185	-17.37%	
		1.498					1.406					
		1.5					1.408					
		1.5					1.408					
		1.5					1.408					
498	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.19	1.41	1.409	1.464	2.179	-17.29%	
		1.502					1.41					
		1.5					1.408					
		1.5					1.406					
		1.498					1.406					
499	3.22	1.502	1.500	1.767	1.822	3.19	1.408	1.408	1.460	2.185	-17.37%	
		1.5					1.408					
		1.5					1.406					
		1.502					1.408					
		1.502					1.41					
500	3.23	1.5	1.501	1.771	1.823	3.20	1.408	1.409	1.464	2.186	-17.35%	
		1.502					1.408					
		1.5					1.41					

## Arcilla de Sicuani

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcificación				Después de la calcificación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
501	3.23	1.5	1.502	1.773	1.822	3.21	1.666	1.669	2.433	1.319	37.26%
		1.504					1.67				
		1.502					1.668				
		1.502					1.67				
		1.5					1.67				
502	3.23	1.504	1.501	1.771	1.823	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.37%
		1.502					1.67				
		1.5					1.67				
		1.498					1.666				
		1.502					1.67				
503	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.22	1.668	1.668	2.432	1.324	37.82%
		1.5					1.67				
		1.498					1.668				
		1.498					1.668				
		1.5					1.666				
504	3.23	1.502	1.500	1.767	1.828	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.60%
		1.5					1.668				
		1.5					1.668				
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
505	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.22	1.668	1.669	2.433	1.323	37.92%
		1.498					1.668				
		1.5					1.67				
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
506	3.23	1.5	1.500	1.767	1.828	3.21	1.668	1.667	2.425	1.324	37.21%
		1.502					1.666				
		1.5					1.666				
		1.5					1.666				
		1.498					1.668				
507	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.22	1.67	1.669	2.435	1.322	37.69%
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
508	3.23	1.5	1.501	1.771	1.823	3.21	1.668	1.668	2.430	1.321	37.17%
		1.502					1.666				
		1.504					1.668				
		1.5					1.67				
		1.5					1.668				
509	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.48%
		1.5					1.67				
		1.502					1.668				
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
510	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.21	1.67	1.670	2.439	1.316	38.22%
		1.5					1.668				
		1.498					1.67				
		1.5					1.67				
		1.5					1.672				

		1.5					1.67				
		1.502					1.67				
511	3.23	1.502	1.501	1.771	1.823	3.21	1.67	1.670	2.437	1.317	37.57%
		1.5					1.668				
		1.502					1.67				
		1.5					1.67				
		1.498					1.672				
512	3.22	1.5	1.499	1.764	1.825	3.21	1.668	1.670	2.440	1.315	38.32%
		1.498					1.67				
		1.5					1.672				
		1.498					1.666				
		1.5					1.668				
513	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.71%
		1.5					1.67				
		1.5					1.67				
		1.5					1.668				
		1.5					1.668				
514	3.21	1.498	1.499	1.763	1.821	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	38.03%
		1.498					1.67				
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
		1.498					1.67				
515	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.81%
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
		1.5					1.668				
		1.5					1.668				
516	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.21	1.666	1.667	2.426	1.323	37.09%
		1.5					1.668				
		1.5					1.668				
		1.502					1.666				
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
517	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.20	1.668	1.668	2.430	1.317	37.61%
		1.5					1.668				
		1.498					1.666				
		1.5					1.666				
		1.5					1.668				
518	3.21	1.496	1.499	1.763	1.821	3.21	1.666	1.668	2.428	1.322	37.74%
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.67				
519	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.21	1.668	1.669	2.435	1.318	37.58%
		1.5					1.67				
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.668				
520	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.21	1.67	1.669	2.435	1.318	37.58%
		1.502					1.668				
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcificación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
521	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.21	1.666	1.669	2.433	1.319	37.48%
		1.5									
		1.5									
		1.5									
		1.502									
522	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.59%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
		1.502									
523	3.22	1.498	1.500	1.766	1.824	3.22	1.668	1.668	2.432	1.324	37.71%
		1.5									
		1.5									
		1.5									
		1.5									
524	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.82%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
		1.5									
525	3.23	1.504	1.501	1.771	1.823	3.22	1.668	1.669	2.433	1.323	37.37%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
		1.5									
526	3.22	1.502	1.500	1.767	1.822	3.21	1.668	1.667	2.425	1.324	37.21%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
		1.5									
527	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.22	1.67	1.669	2.435	1.322	37.58%
		1.498									
		1.502									
		1.502									
		1.502									
528	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.21	1.668	1.668	2.430	1.321	37.72%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
		1.498									
529	3.22	1.498	1.500	1.769	1.821	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.59%
		1.502									
		1.498									
		1.502									
		1.502									
530	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.21	1.67	1.670	2.439	1.316	37.78%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
		1.5									

		1.498					1.67					
		1.502					1.67					
531	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.21	1.67	1.670	2.437	1.317	37.90%	
		1.498					1.668					
		1.502					1.67					
		1.5					1.67					
		1.5					1.672					
532	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.21	1.668	1.670	2.440	1.315	38.21%	
		1.502					1.67					
		1.496					1.672					
		1.498					1.666					
		1.498					1.668					
533	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.71%	
		1.502					1.67					
		1.5					1.67					
		1.5					1.668					
		1.502					1.668					
534	3.23	1.502	1.501	1.770	1.825	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.48%	
		1.5					1.67					
		1.5					1.67					
		1.502					1.668					
		1.502					1.67					
535	3.23	1.498	1.501	1.771	1.823	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.37%	
		1.502					1.668					
		1.502					1.67					
		1.5					1.668					
		1.5					1.666					
536	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.21	1.666	1.667	2.426	1.323	37.09%	
		1.5					1.668					
		1.5					1.666					
		1.498					1.668					
		1.5					1.67					
537	3.22	1.498	1.499	1.763	1.827	3.20	1.668	1.668	2.430	1.317	37.83%	
		1.5					1.668					
		1.498					1.666					
		1.5					1.666					
		1.502					1.668					
538	3.23	1.5	1.501	1.770	1.825	3.21	1.666	1.668	2.428	1.322	37.19%	
		1.502					1.67					
		1.5					1.668					
		1.5					1.668					
		1.5					1.67					
539	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.21	1.668	1.669	2.435	1.318	38.02%	
		1.498					1.67					
		1.5					1.668					
		1.5					1.668					
		1.5					1.67					
		1.5					1.668					
540	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.21	1.67	1.669	2.435	1.318	37.69%	
		1.502					1.668					
		1.5					1.67					

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
541	3.23	1.5	1.500	1.769	1.826	3.21	1.666	1.669	2.433	1.319	37.59%
		1.498					1.67				
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.67				
542	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.48%
		1.5					1.67				
		1.5					1.67				
		1.502					1.666				
		1.502					1.67				
543	3.23	1.5	1.500	1.767	1.828	3.22	1.668	1.668	2.432	1.324	37.60%
		1.5					1.67				
		1.5					1.67				
		1.502					1.668				
		1.498					1.666				
544	3.23	1.502	1.500	1.767	1.828	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.60%
		1.498					1.668				
		1.5					1.668				
		1.498					1.67				
		1.502					1.668				
545	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.22	1.668	1.669	2.433	1.323	37.70%
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
		1.498					1.668				
		1.502					1.67				
546	3.21	1.496	1.498	1.760	1.824	3.21	1.668	1.667	2.425	1.324	37.76%
		1.498					1.666				
		1.498					1.666				
		1.498					1.666				
		1.5					1.668				
547	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.22	1.67	1.669	2.435	1.322	37.80%
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
		1.5					1.67				
		1.498					1.668				
548	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.21	1.668	1.668	2.430	1.321	37.72%
		1.498					1.666				
		1.5					1.668				
		1.498					1.67				
		1.502					1.668				
549	3.23	1.5	1.500	1.767	1.828	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.70%
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
		1.502					1.668				
		1.5					1.67				
550	3.22	1.502	1.501	1.771	1.818	3.21	1.67	1.670	2.439	1.316	37.67%
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.67				
		1.502					1.672				

		1.5					1.67				
		1.5					1.67				
551	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.21	1.67	1.670	2.437	1.317	37.79%
		1.502					1.668				
		1.498					1.67				
		1.502					1.67				
		1.502					1.672				
552	3.23	1.5	1.502	1.773	1.822	3.21	1.668	1.670	2.440	1.315	37.66%
		1.502					1.67				
		1.502					1.672				
		1.5					1.666				
		1.5					1.668				
553	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.21	1.668	1.668	2.432	1.320	37.82%
		1.5					1.67				
		1.498					1.67				
		1.5					1.668				
		1.498					1.668				
554	3.23	1.5	1.500	1.766	1.829	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.81%
		1.502					1.67				
		1.498					1.67				
		1.498					1.668				
		1.5					1.67				
555	3.23	1.5	1.500	1.766	1.829	3.21	1.668	1.669	2.433	1.319	37.81%
		1.498					1.668				
		1.502					1.67				
		1.5					1.668				
		1.496					1.668				
556	3.22	1.498	1.498	1.761	1.828	3.21	1.666	1.667	2.426	1.323	37.75%
		1.498					1.668				
		1.5					1.666				
		1.498					1.668				
557	3.22	1.5	1.499	1.764	1.825	3.20	1.668	1.668	2.430	1.317	37.72%
		1.498					1.668				
		1.5					1.666				
		1.498					1.668				
		1.498					1.668				
558	3.21	1.5	1.499	1.764	1.819	3.21	1.666	1.668	2.428	1.322	37.62%
		1.5					1.67				
		1.5					1.668				
		1.5					1.67				
		1.502					1.67				
559	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.21	1.668	1.669	2.435	1.318	37.80%
		1.5					1.67				
		1.498					1.668				
		1.502					1.67				
		1.502					1.668				
560	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.21	1.67	1.669	2.435	1.318	37.69%
		1.498					1.668				
		1.5					1.67				

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
561	3.22	1.5	1.498	1.764	1.825	3.20	1.764	1.767	2.888	1.108	63.68%
		1.5					1.768				
		1.498					1.768				
		1.498					1.768				
562	3.22	1.5	1.502	1.767	1.822	3.20	1.766	1.767	2.888	1.108	63.41%
		1.498					1.768				
		1.502					1.768				
		1.5					1.764				
563	3.23	1.498	1.502	1.770	1.825	3.21	1.766	1.768	2.894	1.109	63.49%
		1.502					1.77				
		1.502					1.77				
		1.5					1.766				
564	3.23	1.5	1.502	1.770	1.825	3.21	1.77	1.769	2.900	1.107	63.82%
		1.5					1.77				
		1.502					1.768				
		1.502					1.768				
565	3.22	1.5	1.502	1.766	1.824	3.20	1.766	1.767	2.888	1.108	63.54%
		1.498					1.766				
		1.498					1.766				
		1.5					1.768				
566	3.22	1.498	1.502	1.767	1.822	3.19	1.77	1.768	2.892	1.103	63.64%
		1.502					1.768				
		1.5					1.766				
		1.5					1.768				
567	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.20	1.766	1.767	2.890	1.107	63.79%
		1.502					1.766				
		1.498					1.768				
		1.498					1.766				
568	3.22	1.498	1.502	1.767	1.822	3.20	1.766	1.767	2.890	1.107	63.52%
		1.5					1.768				
		1.502					1.766				
		1.5					1.768				
569	3.21	1.5	1.498	1.763	1.821	3.19	1.766	1.767	2.888	1.105	63.81%
		1.498					1.768				
		1.498					1.766				
		1.5					1.766				
570	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.19	1.766	1.767	2.890	1.104	63.79%
		1.502					1.768				
		1.498					1.766				
		1.496					1.768				

		1.498					1.768				
		1.5					1.768				
571	3.22	1.5	1.498	1.761	1.828	3.20	1.766	1.766	2.886	1.109	63.83%
		1.496					1.766				
		1.498					1.764				
		1.5					1.768				
		1.502					1.77				
572	3.23	1.498	1.500	1.769	1.826	3.21	1.766	1.768	2.896	1.109	63.73%
		1.5					1.768				
		1.502					1.77				
		1.502					1.77				
		1.5					1.766				
573	3.22	1.502	1.501	1.770	1.819	3.21	1.77	1.768	2.896	1.109	63.60%
		1.5					1.768				
		1.5					1.768				
		1.498					1.766				
		1.5					1.766				
574	3.20	1.498	1.498	1.760	1.818	3.20	1.766	1.766	2.884	1.110	63.85%
		1.496					1.768				
		1.498					1.764				
		1.498					1.766				
		1.496					1.764				
575	3.21	1.498	1.498	1.760	1.824	3.19	1.764	1.766	2.882	1.107	63.73%
		1.496					1.766				
		1.502					1.768				
		1.5					1.766				
		1.5					1.768				
576	3.22	1.498	1.500	1.769	1.821	3.20	1.77	1.768	2.894	1.106	63.62%
		1.502					1.766				
		1.502					1.77				
		1.5					1.766				
		1.502					1.768				
577	3.22	1.5	1.500	1.766	1.824	3.19	1.766	1.767	2.888	1.105	63.54%
		1.498					1.766				
		1.498					1.768				
		1.496					1.77				
		1.5					1.766				
578	3.22	1.502	1.500	1.767	1.822	3.20	1.768	1.768	2.892	1.107	63.64%
		1.502					1.768				
		1.5					1.766				
		1.498					1.768				
		1.502					1.768				
579	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.21	1.77	1.769	2.898	1.108	63.84%
		1.5					1.768				
		1.502					1.77				
		1.498					1.768				
		1.498					1.766				
580	3.21	1.5	1.499	1.763	1.821	3.18	1.764	1.766	2.886	1.102	63.70%
		1.5					1.766				
		1.498					1.768				

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio			
581	3.23	1.5	1.500	1.769	1.826	3.21	1.884	1.884	3.504	0.916	98.11%
		1.498					1.886				
		1.502					1.884				
		1.5					1.882				
		1.502					1.886				
582	3.22	1.5	1.501	1.770	1.819	3.21	1.882	1.885	3.506	0.916	98.07%
		1.5					1.886				
		1.5					1.884				
		1.502					1.886				
		1.502					1.886				
583	3.23	1.5	1.500	1.767	1.828	3.22	1.884	1.884	3.499	0.920	98.01%
		1.5					1.882				
		1.5					1.884				
		1.502					1.884				
		1.498					1.884				
584	3.23	1.502	1.500	1.767	1.828	3.21	1.886	1.884	3.501	0.917	98.14%
		1.498					1.884				
		1.5					1.884				
		1.498					1.884				
		1.502					1.882				
585	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.22	1.884	1.884	3.499	0.920	98.01%
		1.5					1.886				
		1.5					1.884				
		1.498					1.882				
		1.502					1.882				
586	3.21	1.5	1.499	1.763	1.821	3.21	1.882	1.882	3.490	0.920	97.98%
		1.498					1.884				
		1.498					1.88				
		1.498					1.882				
		1.5					1.882				
587	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.22	1.886	1.884	3.501	0.920	98.14%
		1.502					1.884				
		1.5					1.884				
		1.5					1.882				
		1.498					1.884				
588	3.21	1.498	1.499	1.764	1.819	3.21	1.882	1.883	3.495	0.919	98.08%
		1.498					1.884				
		1.5					1.884				
		1.498					1.882				
		1.502					1.882				
589	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.21	1.884	1.883	3.497	0.918	97.89%
		1.498					1.882				
		1.5					1.882				
		1.502					1.884				
		1.5					1.884				
590	3.23	1.502	1.501	1.771	1.823	3.21	1.884	1.885	3.508	0.915	98.04%
		1.5					1.884				
		1.5					1.886				
		1.502					1.886				
		1.502					1.886				

		1.5					1.884				
		1.5					1.882				
591	3.22	1.502	1.500	1.769	1.821	3.21	1.884	1.884	3.499	0.917	97.85%
		1.502					1.884				
		1.498					1.884				
		1.502					1.886				
		1.502					1.888				
592	3.23	1.5	1.502	1.773	1.822	3.21	1.882	1.885	3.506	0.916	97.76%
		1.502					1.884				
		1.502					1.884				
		1.5					1.882				
		1.5					1.882				
593	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.21	1.884	1.883	3.495	0.919	98.08%
		1.5					1.884				
		1.498					1.882				
		1.5					1.882				
		1.498					1.88				
594	3.23	1.5	1.500	1.766	1.829	3.21	1.884	1.882	3.492	0.919	97.79%
		1.502					1.882				
		1.498					1.884				
		1.498					1.884				
		1.5					1.882				
		1.498					1.88				
595	3.23	1.5	1.500	1.766	1.829	3.21	1.884	1.882	3.492	0.919	97.79%
		1.498					1.882				
		1.498					1.882				
		1.502					1.882				
		1.5					1.884				
		1.5					1.882				
596	3.22	1.498	1.499	1.764	1.825	3.21	1.882	1.882	3.492	0.919	97.95%
		1.498					1.88				
		1.5					1.884				
		1.498					1.884				
		1.5					1.882				
597	3.22	1.5	1.499	1.764	1.825	3.20	1.882	1.883	3.495	0.916	98.08%
		1.498					1.884				
		1.5					1.882				
		1.498					1.884				
		1.5					1.882				
		1.502					1.882				
		1.502					1.884				
598	3.23	1.5	1.501	1.770	1.825	3.21	1.886	1.884	3.504	0.916	97.95%
		1.5					1.886				
		1.5					1.884				
		1.5					1.882				
		1.502					1.884				
599	3.22	1.5	1.500	1.767	1.822	3.21	1.882	1.884	3.499	0.917	98.01%
		1.5					1.884				
		1.498					1.886				
		1.502					1.884				
		1.502					1.882				
600	3.22	1.5	1.500	1.769	1.821	3.21	1.886	1.884	3.501	0.917	97.98%
		1.498					1.882				
		1.5					1.886				

## Arcilla de Ocongate

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
601	3.07	1.502	1.499	1.764	1.740	3.05	1.454	1.454	1.610	1.895	-8.77%
		1.498					1.452				
		1.5					1.456				
		1.498					1.454				
		1.498									
602	3.08	1.502	1.500	1.767	1.743	3.06	1.458	1.455	1.613	1.897	-8.70%
		1.498					1.456				
		1.5					1.454				
		1.498					1.452				
		1.502					1.456				
603	3.09	1.502	1.501	1.770	1.746	3.06	1.456	1.456	1.616	1.893	-8.69%
		1.5					1.454				
		1.502					1.458				
		1.5					1.456				
		1.5					1.456				
604	3.08	1.498	1.500	1.767	1.743	3.05	1.454	1.455	1.613	1.890	-8.70%
		1.502					1.458				
		1.5					1.454				
		1.5					1.454				
		1.5					1.456				
605	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	3.06	1.454	1.455	1.613	1.897	-8.77%
		1.5					1.456				
		1.5					1.454				
		1.502					1.454				
		1.5					1.456				
606	3.07	1.498	1.499	1.764	1.740	3.05	1.456	1.454	1.611	1.893	-8.70%
		1.498					1.454				
		1.502					1.452				
		1.498					1.454				
		1.5									
607	3.08	1.5	1.500	1.767	1.743	3.05	1.454	1.455	1.612	1.892	-8.77%
		1.502					1.454				
		1.5					1.454				
		1.498					1.456				
		1.5					1.456				
608	3.08	1.5	1.501	1.770	1.740	3.06	1.456	1.456	1.615	1.895	-8.77%
		1.502					1.454				
		1.5					1.456				
		1.502					1.456				
		1.5					1.456				
609	3.08	1.502	1.501	1.770	1.740	3.07	1.454	1.456	1.616	1.900	-8.69%
		1.5					1.456				
		1.5					1.456				
		1.502					1.458				
		1.5					1.456				
610	3.09	1.5	1.500	1.767	1.749	3.05	1.454	1.455	1.612	1.892	-8.77%
		1.502					1.454				
		1.498					1.456				
		1.498					1.456				
		1.502					1.454				

		1.5					1.458				
		1.5					1.454				
611	3.08	1.502	1.500	1.767	1.743	3.06	1.454	1.455	1.612	1.898	-8.77%
		1.498					1.456				
		1.5					1.452				
		1.502					1.454				
		1.5					1.456				
612	3.07	1.498	1.499	1.764	1.740	3.04	1.454	1.454	1.610	1.889	-8.77%
		1.498					1.452				
		1.498					1.454				
		1.498					1.454				
		1.502					1.456				
613	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	3.05	1.454	1.455	1.612	1.892	-8.84%
		1.502					1.456				
		1.5					1.454				
		1.498					1.456				
		1.498					1.454				
		1.5					1.456				
614	3.07	1.502	1.500	1.766	1.739	3.06	1.456	1.455	1.612	1.898	-8.70%
		1.5					1.456				
		1.498					1.452				
		1.502					1.458				
		1.502					1.454				
615	3.08	1.498	1.500	1.767	1.743	3.05	1.454	1.455	1.613	1.890	-8.70%
		1.5					1.454				
		1.498					1.456				
		1.502					1.458				
		1.502					1.456				
		1.502					1.454				
		1.504					1.458				
616	3.09	1.502	1.502	1.776	1.740	3.08	1.456	1.457	1.620	1.901	-8.76%
		1.502					1.458				
		1.504					1.458				
		1.5					1.458				
		1.502					1.454				
617	3.09	1.502	1.501	1.771	1.744	3.06	1.454	1.456	1.616	1.893	-8.76%
		1.502					1.458				
		1.5					1.456				
		1.496					1.454				
		1.5					1.452				
618	3.07	1.498	1.498	1.761	1.743	3.04	1.456	1.454	1.608	1.890	-8.70%
		1.5					1.454				
		1.498					1.452				
		1.5					1.454				
		1.498					1.454				
		1.498					1.454				
619	3.07	1.498	1.499	1.764	1.740	3.05	1.452	1.454	1.610	1.895	-8.77%
		1.502					1.456				
		1.498					1.454				
		1.5					1.456				
		1.498					1.454				
		1.5					1.456				
620	3.08	1.502	1.500	1.769	1.742	3.06	1.454	1.456	1.615	1.895	-8.69%
		1.502					1.456				
		1.502					1.456				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
621	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.448	1.449	1.592	1.915	-9.82%
		1.5					1.452				
		1.498					1.45				
		1.5					1.448				
622	3.08	1.502	1.501	1.770	1.740	3.06	1.448	1.450	1.596	1.917	-9.81%
		1.5					1.45				
		1.502					1.452				
		1.502					1.45				
623	3.09	1.502	1.501	1.771	1.744	3.06	1.452	1.450	1.598	1.915	-9.81%
		1.5					1.45				
		1.504					1.452				
		1.5					1.45				
624	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.448	1.449	1.594	1.914	-9.75%
		1.5					1.45				
		1.5					1.448				
		1.5					1.45				
625	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.448	1.449	1.592	1.915	-9.82%
		1.5					1.45				
		1.5					1.45				
		1.498					1.446				
626	3.07	1.498	1.499	1.764	1.740	3.05	1.448	1.449	1.592	1.915	-9.75%
		1.5					1.448				
		1.498					1.448				
		1.5					1.45				
627	3.09	1.504	1.501	1.770	1.746	3.07	1.452	1.450	1.598	1.922	-9.74%
		1.498					1.45				
		1.5					1.45				
		1.502					1.45				
628	3.09	1.502	1.501	1.771	1.744	3.06	1.452	1.450	1.598	1.915	-9.81%
		1.5					1.448				
		1.5					1.45				
		1.502					1.452				
629	3.08	1.502	1.499	1.764	1.746	3.05	1.448	1.449	1.592	1.915	-9.75%
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
		1.496					1.448				

		1.502					1.448				
		1.5					1.452				
630	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.448	1.449	1.594	1.914	-9.75%
		1.5					1.448				
		1.498					1.45				
		1.498					1.45				
		1.498					1.448				
631	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	3.04	1.45	1.448	1.591	1.911	-9.75%
		1.498					1.448				
		1.5					1.446				
		1.502					1.452				
		1.498					1.45				
632	3.09	1.5	1.501	1.770	1.746	3.06	1.45	1.450	1.596	1.917	-9.81%
		1.502					1.45				
		1.502					1.448				
		1.502					1.452				
		1.5					1.45				
633	3.08	1.5	1.501	1.770	1.740	3.06	1.45	1.450	1.598	1.915	-9.74%
		1.502					1.45				
		1.5					1.45				
		1.5					1.45				
		1.5					1.45				
		1.5					1.45				
634	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.06	1.448	1.449	1.594	1.920	-9.75%
		1.498					1.448				
		1.5					1.448				
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
		1.5					1.448				
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
635	3.08	1.5	1.500	1.767	1.743	3.05	1.45	1.449	1.594	1.914	-9.82%
		1.502					1.45				
		1.5					1.448				
		1.498					1.45				
		1.5					1.448				
		1.498					1.45				
		1.5					1.448				
		1.498					1.448				
636	3.07	1.5	1.499	1.763	1.741	3.05	1.448	1.448	1.591	1.917	-9.75%
		1.498					1.448				
		1.5					1.448				
		1.498					1.448				
		1.498					1.446				
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
637	3.09	1.5	1.500	1.769	1.747	3.06	1.452	1.450	1.596	1.917	-9.74%
		1.5					1.45				
		1.504					1.45				
		1.502					1.45				
		1.502					1.452				
638	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.06	1.45	1.450	1.598	1.915	-9.81%
		1.5					1.45				
		1.502					1.45				
		1.502					1.45				
		1.502					1.448				
		1.5					1.45				
639	3.09	1.502	1.500	1.769	1.747	3.05	1.452	1.450	1.595	1.912	-9.82%
		1.5					1.448				
		1.498					1.45				
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
		1.5					1.45				
		1.498					1.448				
640	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	3.05	1.448	1.449	1.592	1.915	-9.75%
		1.498					1.448				
		1.5					1.448				
		1.498					1.448				
		1.5					1.45				

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
641	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	3.05	1.446	1.445	1.579	1.931	-10.50%
		1.498					1.444				
		1.5					1.442				
		1.5					1.446				
		1.498					1.446				
642	3.08	1.5	1.500	1.767	1.743	3.06	1.444	1.446	1.582	1.935	-10.49%
		1.5					1.444				
		1.498					1.446				
		1.5					1.446				
		1.502					1.448				
643	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.06	1.448	1.446	1.584	1.931	-10.56%
		1.502					1.446				
		1.504					1.444				
		1.5					1.446				
		1.5					1.448				
644	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.05	1.444	1.445	1.580	1.930	-10.49%
		1.5					1.446				
		1.5					1.444				
		1.498					1.446				
		1.5					1.446				
645	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	3.05	1.444	1.444	1.578	1.933	-10.50%
		1.5					1.446				
		1.498					1.446				
		1.498					1.446				
		1.498					1.444				
646	3.08	1.502	1.500	1.767	1.743	3.05	1.444	1.445	1.580	1.930	-10.56%
		1.5					1.444				
		1.498					1.446				
		1.5					1.446				
		1.5					1.446				
647	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	3.05	1.444	1.444	1.577	1.935	-10.57%
		1.498					1.446				
		1.5					1.442				
		1.498					1.444				
		1.498					1.444				
648	3.09	1.502	1.501	1.770	1.746	3.06	1.446	1.446	1.583	1.933	-10.56%
		1.5					1.446				
		1.5					1.448				
		1.502					1.446				
		1.5					1.444				
649	3.08	1.502	1.501	1.770	1.740	3.06	1.446	1.446	1.584	1.931	-10.48%
		1.502					1.446				
		1.5					1.444				
		1.5					1.448				
		1.5					1.448				

		1.5					1.444					
		1.502					1.444					
650	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.446	1.445	1.579	1.931	-10.57%	
		1.5					1.446					
		1.498					1.444					
		1.498					1.446					
		1.502					1.444					
651	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.06	1.442	1.445	1.580	1.936	-10.49%	
		1.5					1.448					
		1.498					1.446					
		1.502					1.446					
652	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.06	1.446	1.446	1.584	1.931	-10.56%	
		1.502					1.448					
		1.5					1.446					
		1.502					1.446					
653	3.08	1.502	1.501	1.771	1.739	3.06	1.446	1.446	1.584	1.931	-10.56%	
		1.502					1.446					
		1.5					1.448					
		1.5					1.446					
		1.502					1.446					
654	3.08	1.498	1.499	1.764	1.746	3.06	1.444	1.444	1.578	1.939	-10.57%	
		1.5					1.446					
		1.498					1.444					
		1.5					1.444					
		1.502					1.442					
655	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.444	1.445	1.579	1.931	-10.57%	
		1.502					1.446					
		1.498					1.446					
		1.5					1.448					
		1.498					1.444					
656	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	3.06	1.446	1.446	1.582	1.935	-10.56%	
		1.502					1.446					
		1.502					1.444					
		1.504					1.446					
657	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.06	1.446	1.446	1.584	1.931	-10.56%	
		1.5					1.446					
		1.498					1.448					
		1.498					1.446					
		1.498					1.444					
658	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.06	1.446	1.445	1.580	1.936	-10.49%	
		1.5					1.444					
		1.502					1.446					
		1.498					1.442					
		1.5					1.444					
659	3.07	1.498	1.499	1.763	1.741	3.05	1.446	1.444	1.578	1.933	-10.50%	
		1.498					1.444					
		1.5					1.446					
		1.5					1.446					
		1.502					1.446					
660	3.08	1.5	1.501	1.770	1.740	3.06	1.444	1.446	1.583	1.933	-10.56%	
		1.5					1.446					
		1.502					1.446					
		1.5					1.446					
		1.502					1.448					

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
661	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.06	1.442	1.440	1.565	1.956	-11.66%
		1.502					1.44				
		1.502					1.438				
		1.502					1.442				
662	3.09	1.5	1.501	1.771	1.744	3.05	1.44	1.440	1.563	1.951	-11.74%
		1.504					1.44				
		1.502					1.438				
		1.5					1.442				
663	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	3.05	1.438	1.438	1.558	1.957	-11.68%
		1.498					1.438				
		1.5					1.44				
		1.5					1.436				
664	3.08	1.5	1.500	1.767	1.743	3.05	1.438	1.439	1.561	1.954	-11.67%
		1.502					1.44				
		1.498					1.438				
		1.5					1.44				
665	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	3.04	1.44	1.438	1.557	1.953	-11.68%
		1.498					1.438				
		1.498					1.436				
		1.5					1.438				
666	3.09	1.5	1.502	1.773	1.743	3.05	1.442	1.440	1.565	1.949	-11.74%
		1.5					1.442				
		1.504					1.438				
		1.502					1.44				
667	3.09	1.5	1.501	1.770	1.746	3.05	1.44	1.440	1.563	1.951	-11.67%
		1.5					1.438				
		1.502					1.44				
		1.502					1.442				
668	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.04	1.44	1.439	1.560	1.949	-11.68%
		1.502					1.438				
		1.5					1.44				
		1.498					1.438				
669	3.07	1.5	1.499	1.763	1.741	3.04	1.438	1.438	1.558	1.951	-11.61%
		1.498					1.438				
		1.5					1.44				
		1.498					1.438				

		1.5					1.438					
		1.5					1.438					
670	3.08	1.5	1.499	1.763	1.747	3.04	1.436	1.438	1.557	1.953	-11.68%	
		1.498					1.438					
		1.496					1.44					
		1.5					1.438					
		1.502					1.44					
671	3.08	1.5	1.500	1.767	1.743	3.05	1.438	1.439	1.561	1.954	-11.67%	
		1.5					1.438					
		1.498					1.442					
		1.5					1.44					
		1.5					1.438					
672	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.44	1.439	1.560	1.956	-11.68%	
		1.502					1.438					
		1.498					1.438					
		1.502					1.44					
		1.502					1.44					
673	3.09	1.5	1.501	1.770	1.746	3.06	1.44	1.440	1.563	1.957	-11.67%	
		1.5					1.44					
		1.5					1.44					
		1.5					1.44					
		1.502					1.442					
		1.498					1.438					
674	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	3.06	1.438	1.440	1.562	1.959	-11.67%	
		1.5					1.44					
		1.502					1.44					
		1.502					1.438					
		1.5					1.442					
675	3.08	1.5	1.500	1.769	1.742	3.05	1.44	1.440	1.562	1.952	-11.67%	
		1.5					1.438					
		1.5					1.44					
		1.502					1.44					
		1.498					1.438					
676	3.07	1.5	1.499	1.764	1.740	3.04	1.438	1.438	1.558	1.951	-11.68%	
		1.498					1.436					
		1.498					1.44					
		1.502					1.438					
		1.5					1.438					
677	3.09	1.5	1.500	1.769	1.747	3.06	1.44	1.440	1.562	1.959	-11.67%	
		1.498					1.442					
		1.502					1.44					
		1.502					1.442					
		1.5					1.44					
678	3.09	1.502	1.501	1.770	1.746	3.06	1.44	1.440	1.563	1.957	-11.67%	
		1.5					1.44					
		1.5					1.438					
		1.502					1.44					
		1.498					1.438					
679	3.08	1.498	1.500	1.766	1.744	3.05	1.438	1.439	1.560	1.956	-11.68%	
		1.5					1.44					
		1.5					1.438					
		1.5					1.438					
		1.5					1.438					
680	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	3.05	1.438	1.438	1.558	1.957	-11.68%	
		1.498					1.44					
		1.498					1.438					
		1.5					1.438					

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
681	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.05	1.42	1.421	1.502	2.031	-14.95%
		1.5					1.422				
		1.498					1.42				
		1.5					1.422				
682	3.08	1.5	1.499	1.764	1.746	3.06	1.422	1.420	1.500	2.039	-14.95%
		1.5					1.42				
		1.498					1.422				
		1.498					1.418				
683	3.09	1.5	1.500	1.767	1.749	3.06	1.422	1.421	1.503	2.036	-14.95%
		1.498					1.42				
		1.502					1.422				
		1.5					1.422				
684	3.08	1.498	1.501	1.770	1.740	3.06	1.422	1.422	1.506	2.032	-14.94%
		1.502					1.422				
		1.502					1.424				
		1.5					1.42				
685	3.08	1.5	1.501	1.770	1.740	3.06	1.42	1.422	1.504	2.034	-15.01%
		1.5					1.422				
		1.502					1.424				
		1.502					1.422				
686	3.08	1.5	1.500	1.766	1.744	3.05	1.42	1.421	1.502	2.031	-14.95%
		1.498					1.42				
		1.502					1.422				
		1.498					1.422				
687	3.09	1.498	1.500	1.767	1.749	3.06	1.424	1.421	1.503	2.036	-14.95%
		1.502					1.42				
		1.5					1.422				
		1.5					1.42				
688	3.07	1.498	1.498	1.761	1.743	3.05	1.42	1.420	1.498	2.036	-14.96%
		1.502					1.42				
		1.496					1.418				
		1.498					1.42				
689	3.08	1.498	1.500	1.767	1.743	3.06	1.422	1.421	1.503	2.036	-14.95%
		1.5					1.422				
		1.5					1.422				
		1.502					1.42				
		1.5					1.42				

			1.5				1.418					
			1.498				1.42					
690	3.08		1.498	1.499	1.763	1.747	3.05	1.422	1.420	1.499	2.034	-14.96%
			1.498					1.42				
			1.5					1.42				
			1.498					1.424				
			1.502					1.422				
691	3.08		1.498	1.500	1.769	1.742	3.06	1.42	1.422	1.504	2.034	-14.94%
			1.502					1.422				
			1.502					1.42				
			1.502					1.42				
			1.5					1.422				
692	3.09		1.5	1.501	1.770	1.746	3.06	1.422	1.422	1.504	2.034	-15.01%
			1.502					1.422				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
693	3.08		1.498	1.500	1.766	1.744	3.06	1.42	1.421	1.502	2.038	-14.95%
			1.498					1.42				
			1.502					1.422				
			1.498					1.422				
			1.502					1.42				
694	3.08		1.5	1.500	1.769	1.742	3.06	1.424	1.422	1.504	2.034	-14.94%
			1.5					1.422				
			1.502					1.42				
			1.498					1.422				
			1.502					1.422				
695	3.08		1.5	1.500	1.767	1.743	3.06	1.42	1.421	1.503	2.036	-14.95%
			1.502					1.42				
			1.498					1.422				
			1.5					1.422				
			1.498					1.42				
696	3.08		1.5	1.500	1.767	1.743	3.05	1.42	1.421	1.502	2.031	-15.02%
			1.5					1.422				
			1.502					1.42				
			1.502					1.422				
			1.5					1.422				
			1.498					1.422				
697	3.09		1.502	1.501	1.770	1.746	3.06	1.42	1.422	1.506	2.032	-14.94%
			1.5					1.424				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
			1.5					1.422				
698	3.09		1.502	1.500	1.767	1.749	3.06	1.42	1.421	1.502	2.038	-15.02%
			1.498					1.42				
			1.5					1.422				
			1.498					1.42				
			1.502					1.42				
699	3.08		1.502	1.500	1.766	1.744	3.05	1.42	1.421	1.502	2.031	-14.95%
			1.5					1.42				
			1.5					1.424				
			1.502					1.424				
			1.502					1.422				
700	3.09		1.502	1.501	1.771	1.744	3.07	1.424	1.422	1.507	2.037	-14.94%
			1.5					1.42				
			1.5					1.422				

## Arcilla de Huayanay

*Temperatura de 1148°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
701	2.79	1.498	1.500	1.769	1.578	2.76	1.298	1.300	1.149	2.401	-35.02%
		1.502					1.298				
		1.5					1.3				
		1.5					1.3				
		1.502					1.3				
702	2.79	1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.298	1.299	1.148	2.404	-34.97%
		1.5					1.298				
		1.502					1.302				
		1.498					1.3				
		1.498					1.3				
703	2.79	1.498	1.499	1.763	1.583	2.76	1.3	1.298	1.146	2.408	-34.99%
		1.5					1.298				
		1.5					1.3				
		1.498					1.3				
		1.498					1.296				
704	2.79	1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.3	1.299	1.148	2.404	-34.97%
		1.502					1.298				
		1.5					1.3				
		1.498					1.3				
		1.498					1.298				
705	2.79	1.498	1.500	1.767	1.579	2.76	1.3	1.299	1.148	2.404	-35.02%
		1.498					1.298				
		1.502					1.3				
		1.5					1.3				
		1.502					1.3				
706	2.80	1.5	1.500	1.767	1.584	2.77	1.3	1.300	1.149	2.410	-34.96%
		1.5					1.3				
		1.498					1.3				
		1.502					1.298				
		1.5					1.3				
707	2.78	1.498	1.498	1.761	1.578	2.75	1.298	1.298	1.145	2.402	-35.00%
		1.5					1.298				
		1.498					1.296				
		1.498					1.3				
		1.498					1.3				
708	2.80	1.5	1.500	1.769	1.583	2.77	1.302	1.300	1.149	2.410	-35.02%
		1.5					1.3				
		1.5					1.298				
		1.5					1.298				
		1.502					1.3				
709	2.79	1.498	1.499	1.763	1.583	2.75	1.298	1.298	1.146	2.399	-34.99%
		1.5					1.3				
		1.498					1.296				
		1.5					1.3				
		1.498					1.298				

			1.502				1.3					
			1.498				1.298					
710	2.79		1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.3	1.299	1.148	2.404	-34.97%
			1.498					1.3				
			1.5					1.298				
			1.5					1.302				
			1.498					1.3				
711	2.79		1.502	1.500	1.767	1.579	2.76	1.3	1.300	1.149	2.401	-34.96%
			1.5					1.298				
			1.5					1.298				
			1.5					1.3				
			1.5					1.298				
712	2.78		1.498	1.499	1.764	1.576	2.75	1.298	1.299	1.147	2.397	-34.98%
			1.5					1.3				
			1.498					1.298				
			1.496					1.296				
			1.498					1.3				
713	2.79		1.502	1.499	1.764	1.581	2.76	1.3	1.299	1.147	2.406	-34.98%
			1.5					1.298				
			1.5					1.3				
			1.498					1.298				
			1.502					1.298				
714	2.79		1.498	1.500	1.767	1.579	2.76	1.3	1.299	1.148	2.404	-35.02%
			1.502					1.3				
			1.5					1.3				
			1.5					1.3				
			1.498					1.298				
715	2.79		1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.298	1.299	1.148	2.404	-34.97%
			1.5					1.298				
			1.498					1.3				
			1.5					1.3				
			1.502					1.3				
			1.498					1.3				
716	2.79		1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.298	1.299	1.148	2.404	-34.97%
			1.5					1.298				
			1.498					1.3				
			1.502					1.3				
			1.498					1.298				
717	2.80		1.502	1.501	1.770	1.582	2.77	1.3	1.300	1.150	2.408	-35.01%
			1.502					1.3				
			1.5					1.298				
			1.498					1.302				
			1.5					1.3				
			1.498					1.3				
718	2.78		1.5	1.499	1.764	1.576	2.75	1.296	1.299	1.147	2.397	-34.98%
			1.498					1.298				
			1.5					1.3				
			1.502					1.3				
			1.498					1.302				
			1.5					1.3				
719	2.80		1.502	1.501	1.770	1.582	2.77	1.3	1.300	1.150	2.408	-35.01%
			1.502					1.298				
			1.502					1.3				
			1.498					1.3				
			1.5					1.3				
720	2.79		1.502	1.500	1.767	1.579	2.76	1.298	1.299	1.148	2.404	-35.02%
			1.502					1.3				
			1.498					1.298				

*Temperatura de 1178°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación					Cambio volumétrico
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	
721	2.79	1.498	1.500	1.769	1.578	2.76	1.298	1.296	1.141	2.419	-35.49%
		1.5					1.298				
		1.502					1.296				
		1.5					1.294				
722	2.80	1.5	1.501	1.771	1.581	2.77	1.298	1.297	1.143	2.424	-35.48%
		1.498					1.296				
		1.504					1.296				
		1.5					1.298				
723	2.80	1.502	1.501	1.771	1.581	2.77	1.298	1.297	1.143	2.424	-35.48%
		1.502					1.296				
		1.5					1.298				
		1.5					1.298				
724	2.79	1.498	1.500	1.769	1.578	2.76	1.298	1.296	1.141	2.419	-35.49%
		1.5					1.298				
		1.502					1.294				
		1.5					1.296				
725	2.79	1.5	1.500	1.767	1.579	2.77	1.296	1.296	1.140	2.430	-35.50%
		1.5					1.298				
		1.502					1.296				
		1.498					1.294				
726	2.79	1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.294	1.296	1.139	2.424	-35.51%
		1.498					1.298				
		1.498					1.296				
		1.502					1.296				
727	2.80	1.5	1.501	1.771	1.581	2.77	1.294	1.297	1.143	2.424	-35.48%
		1.498					1.298				
		1.502					1.298				
		1.504					1.296				
728	2.80	1.502	1.500	1.769	1.583	2.77	1.296	1.296	1.141	2.428	-35.49%
		1.5					1.298				
		1.502					1.298				
		1.498					1.296				
729	2.80	1.502	1.500	1.767	1.584	2.77	1.298	1.296	1.140	2.430	-35.50%
		1.504					1.296				
		1.496					1.294				
		1.5					1.296				
		1.498					1.296				

			1.5				1.296					
			1.498				1.294					
730	2.78		1.5	1.499	1.763	1.577	2.75	1.294	1.295	1.138	2.417	-35.47%
			1.498					1.298				
			1.498					1.294				
			1.502					1.296				
			1.498					1.294				
731	2.79		1.5	1.500	1.766	1.580	2.76	1.296	1.296	1.139	2.424	-35.51%
			1.498					1.298				
			1.5					1.294				
			1.502					1.298				
			1.502					1.296				
732	2.80		1.502	1.501	1.771	1.581	2.77	1.296	1.297	1.143	2.424	-35.48%
			1.5					1.298				
			1.5					1.298				
			1.5					1.296				
			1.502					1.298				
			1.502					1.296				
733	2.79		1.5	1.501	1.770	1.576	2.77	1.298	1.297	1.142	2.426	-35.49%
			1.502					1.294				
			1.5					1.298				
			1.498					1.296				
			1.502					1.296				
734	2.79		1.5	1.500	1.767	1.579	2.76	1.296	1.296	1.140	2.422	-35.50%
			1.5					1.298				
			1.5					1.294				
			1.502					1.296				
			1.502					1.296				
735	2.79		1.5	1.500	1.769	1.578	2.77	1.298	1.296	1.141	2.428	-35.49%
			1.5					1.296				
			1.498					1.296				
			1.5					1.294				
			1.5					1.296				
			1.498					1.296				
736	2.79		1.498	1.500	1.767	1.579	2.76	1.296	1.296	1.140	2.422	-35.50%
			1.5					1.298				
			1.502					1.296				
			1.502					1.296				
737	2.80		1.5	1.500	1.767	1.584	2.77	1.298	1.296	1.141	2.428	-35.44%
			1.498					1.298				
			1.5					1.296				
			1.502					1.296				
			1.5					1.294				
			1.5					1.296				
			1.498					1.296				
738	2.79		1.5	1.500	1.767	1.579	2.76	1.294	1.296	1.140	2.422	-35.50%
			1.5					1.296				
			1.5					1.296				
			1.498					1.298				
			1.502					1.296				
			1.5					1.298				
			1.502					1.298				
739	2.80		1.5	1.500	1.769	1.583	2.77	1.298	1.296	1.141	2.428	-35.49%
			1.498					1.296				
			1.502					1.294				
			1.5					1.298				
			1.498					1.296				
740	2.80		1.502	1.500	1.767	1.584	2.77	1.296	1.296	1.141	2.428	-35.44%
			1.5					1.294				
			1.5					1.298				

*Temperatura de 1196°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Después de la calcinación				Cambio volumétrico	
		Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio
741	2.79	1.5	1.500	1.767	1.579	2.77	1.29	1.292	1.128	2.455	-36.16%
		1.5									
		1.502									
		1.498									
		1.5									
742	2.79	1.498	1.500	1.766	1.580	2.76	1.292	1.291	1.127	2.449	-36.17%
		1.498									
		1.502									
		1.5									
		1.5									
743	2.80	1.498	1.502	1.773	1.579	2.77	1.294	1.293	1.132	2.446	-36.12%
		1.502									
		1.502									
		1.504									
		1.502									
744	2.79	1.5	1.500	1.769	1.578	2.77	1.29	1.292	1.129	2.453	-36.15%
		1.5									
		1.502									
		1.498									
		1.502									
745	2.80	1.504	1.500	1.766	1.586	2.76	1.29	1.291	1.127	2.449	-36.17%
		1.496									
		1.5									
		1.498									
		1.5									
746	2.79	1.498	1.499	1.764	1.581	2.76	1.29	1.291	1.127	2.449	-36.11%
		1.5									
		1.498									
		1.498									
		1.502									
747	2.79	1.498	1.500	1.766	1.580	2.77	1.292	1.291	1.127	2.458	-36.17%
		1.5									
		1.498									
		1.5									
		1.502									
748	2.80	1.502	1.501	1.770	1.582	2.78	1.292	1.292	1.130	2.460	-36.14%
		1.502									
		1.5									
		1.5									
		1.5									
749	2.79	1.502	1.500	1.769	1.578	2.78	1.292	1.292	1.129	2.462	-36.15%
		1.5									
		1.502									
		1.5									
		1.498									

		1.502					1.292				
		1.5					1.294				
750	2.80	1.5	1.501	1.770	1.582	2.78	1.29	1.292	1.130	2.460	-36.14%
		1.5					1.294				
		1.502					1.292				
		1.502					1.29				
		1.5					1.292				
751	2.80	1.5	1.500	1.767	1.584	2.77	1.294	1.292	1.128	2.455	-36.16%
		1.498					1.29				
		1.5					1.292				
		1.5					1.294				
		1.498					1.292				
752	2.80	1.5	1.500	1.769	1.583	2.77	1.292	1.292	1.129	2.453	-36.15%
		1.502					1.292				
		1.502					1.29				
		1.5					1.292				
		1.5					1.29				
753	2.80	1.498	1.500	1.767	1.584	2.77	1.292	1.292	1.128	2.455	-36.16%
		1.5					1.292				
		1.502					1.292				
		1.5					1.29				
		1.5					1.292				
754	2.79	1.5	1.500	1.766	1.580	2.77	1.29	1.291	1.127	2.458	-36.17%
		1.498					1.292				
		1.5					1.292				
		1.502					1.292				
		1.498					1.288				
		1.498					1.29				
755	2.78	1.496	1.498	1.759	1.581	2.76	1.288	1.290	1.123	2.458	-36.15%
		1.496					1.29				
		1.5					1.292				
		1.496					1.288				
		1.498					1.288				
756	2.78	1.5	1.497	1.757	1.582	2.76	1.292	1.289	1.122	2.460	-36.16%
		1.496					1.29				
		1.496					1.288				
		1.5					1.29				
		1.498					1.286				
757	2.77	1.496	1.497	1.757	1.576	2.75	1.288	1.289	1.122	2.451	-36.16%
		1.498					1.29				
		1.494					1.292				
		1.498					1.292				
		1.5					1.29				
758	2.78	1.5	1.498	1.761	1.578	2.76	1.288	1.290	1.125	2.453	-36.13%
		1.496					1.292				
		1.498					1.29				
		1.5					1.292				
		1.5					1.29				
759	2.80	1.498	1.499	1.764	1.587	2.77	1.29	1.291	1.126	2.460	-36.17%
		1.498					1.292				
		1.5					1.29				
		1.502					1.288				
		1.5					1.29				
760	2.81	1.502	1.501	1.770	1.588	2.76	1.288	1.290	1.123	2.458	-36.56%
		1.5					1.29				
		1.5					1.292				

*Temperatura de 1221°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación				Masa	Después de la calcinación				Cambio volumétrico
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Diámetro promedio		Volumen promedio	Densidad promedio			
761	2.79	1.5	1.500	1.769	1.578	2.76	1.286	1.287	1.116	2.474	-36.92%
		1.5					1.288				
		1.502					1.288				
		1.5					1.284				
		1.5					1.288				
762	2.79	1.502	1.500	1.767	1.579	2.76	1.288	1.286	1.115	2.476	-36.93%
		1.498					1.286				
		1.498					1.284				
		1.502					1.286				
		1.5					1.288				
763	2.79	1.5	1.500	1.767	1.579	2.76	1.288	1.287	1.116	2.474	-36.87%
		1.5					1.286				
		1.498					1.286				
		1.5					1.288				
		1.502					1.286				
764	2.79	1.5	1.499	1.763	1.583	2.76	1.286	1.286	1.113	2.481	-36.89%
		1.498					1.284				
		1.5					1.284				
		1.498					1.288				
		1.498					1.286				
765	2.79	1.502	1.501	1.770	1.576	2.75	1.286	1.285	1.110	2.476	-37.26%
		1.5					1.284				
		1.502					1.286				
		1.5					1.284				
		1.5					1.284				
766	2.79	1.498	1.500	1.766	1.580	2.76	1.286	1.286	1.114	2.478	-36.93%
		1.502					1.286				
		1.5					1.286				
		1.498					1.286				
		1.5					1.286				
767	2.78	1.498	1.499	1.763	1.577	2.75	1.284	1.286	1.113	2.472	-36.89%
		1.498					1.286				
		1.498					1.288				
		1.5					1.284				
		1.5					1.286				
768	2.80	1.5	1.500	1.767	1.584	2.75	1.286	1.286	1.115	2.467	-36.93%
		1.5					1.286				
		1.502					1.288				
		1.498					1.286				
		1.5					1.286				
769	2.79	1.498	1.499	1.764	1.581	2.75	1.284	1.286	1.113	2.472	-36.94%
		1.498					1.284				
		1.5					1.286				
		1.498					1.284				
		1.502					1.286				

		1.5					1.288				
		1.498					1.284				
770	2.79	1.5	1.499	1.764	1.581	2.76	1.286	1.286	1.113	2.481	-36.94%
		1.5					1.284				
		1.498					1.286				
		1.498					1.286				
		1.502					1.288				
771	2.79	1.502	1.501	1.770	1.576	2.76	1.288	1.287	1.117	2.472	-36.91%
		1.502					1.286				
		1.5					1.288				
		1.502					1.284				
		1.5					1.284				
772	2.78	1.498	1.500	1.769	1.572	2.75	1.286	1.284	1.109	2.479	-37.27%
		1.502					1.284				
		1.5					1.284				
		1.5					1.286				
		1.5					1.284				
773	2.79	1.502	1.501	1.770	1.576	2.75	1.282	1.285	1.110	2.476	-37.26%
		1.502					1.286				
		1.5					1.286				
		1.5					1.288				
		1.498					1.286				
774	2.79	1.5	1.499	1.764	1.581	2.76	1.284	1.286	1.113	2.481	-36.94%
		1.5					1.284				
		1.498					1.286				
		1.5					1.288				
		1.502					1.286				
775	2.79	1.502	1.501	1.770	1.576	2.76	1.286	1.287	1.117	2.472	-36.91%
		1.502					1.288				
		1.498					1.288				
		1.5					1.286				
		1.502					1.288				
776	2.79	1.502	1.501	1.771	1.575	2.76	1.288	1.288	1.118	2.469	-36.90%
		1.5					1.288				
		1.502					1.288				
		1.5					1.284				
		1.498					1.286				
777	2.77	1.498	1.499	1.764	1.570	2.75	1.288	1.286	1.114	2.470	-36.88%
		1.5					1.286				
		1.498					1.286				
		1.5					1.284				
		1.498					1.286				
		1.5					1.286				
		1.498					1.288				
778	2.78	1.498	1.499	1.764	1.576	2.76	1.286	1.286	1.114	2.478	-36.88%
		1.5					1.286				
		1.5					1.288				
		1.502					1.284				
		1.498					1.286				
779	2.78	1.5	1.500	1.766	1.574	2.75	1.288	1.286	1.114	2.470	-36.93%
		1.498					1.286				
		1.5					1.286				
		1.498					1.286				
		1.5					1.286				
		1.498					1.284				
780	2.79	1.498	1.500	1.766	1.580	2.76	1.286	1.286	1.114	2.478	-36.93%
		1.502					1.286				
		1.502					1.286				
		1.498					1.288				

*Temperatura de 1255°C*

Nro.	Masa	Antes de la Calcinación			Después de la calcinación			Cambio volumétrico		
		Diámetro promedio	Volumen promedio	Densidad promedio	Masa	Diámetro promedio	Volumen promedio		Densidad promedio	
781	2.80	1.5	1.501	1.770	1.582	2.77	1.294	1.136	2.439	-35.84%
		1.502				1.292				
		1.502				1.296				
		1.5				1.296				
		1.5				1.294				
782	2.79	1.5	1.499	1.764	1.581	2.77	1.294	1.132	2.446	-35.82%
		1.5				1.292				
		1.498				1.294				
		1.5				1.292				
		1.498				1.294				
783	2.77	1.496	1.499	1.764	1.570	2.77	1.292	1.131	2.448	-35.88%
		1.498				1.292				
		1.502				1.294				
		1.5				1.294				
		1.5				1.292				
784	2.80	1.498	1.500	1.767	1.584	2.77	1.296	1.134	2.442	-35.80%
		1.502				1.294				
		1.498				1.294				
		1.502				1.292				
		1.5				1.294				
785	2.78	1.5	1.500	1.766	1.574	2.77	1.292	1.132	2.446	-35.87%
		1.5				1.294				
		1.5				1.296				
		1.498				1.292				
		1.5				1.292				
786	2.78	1.502	1.500	1.766	1.574	2.76	1.294	1.132	2.437	-35.87%
		1.498				1.292				
		1.5				1.294				
		1.5				1.294				
		1.498				1.292				
787	2.78	1.498	1.500	1.769	1.572	2.77	1.296	1.134	2.442	-35.85%
		1.502				1.294				
		1.502				1.296				
		1.5				1.292				
		1.5				1.292				
788	2.77	1.498	1.499	1.764	1.570	2.77	1.294	1.131	2.448	-35.88%
		1.5				1.292				
		1.5				1.292				
		1.498				1.294				
		1.5				1.292				
789	2.81	1.502	1.502	1.773	1.585	2.78	1.296	1.138	2.444	-35.83%
		1.5				1.294				
		1.502				1.296				
		1.504				1.296				
		1.5				1.294				

		1.5					1.292				
		1.5					1.292				
790	2.80	1.5	1.500	1.766	1.586	2.77	1.294	1.294	1.133	2.444	-35.81%
		1.5					1.294				
		1.498					1.296				
		1.5					1.294				
		1.5					1.294				
791	2.78	1.5	1.499	1.764	1.576	2.76	1.292	1.293	1.132	2.437	-35.82%
		1.498					1.294				
		1.498					1.292				
		1.498					1.294				
		1.5					1.294				
792	2.78	1.5	1.500	1.766	1.574	2.77	1.294	1.293	1.132	2.446	-35.87%
		1.498					1.292				
		1.5					1.294				
		1.5					1.294				
		1.498					1.292				
		1.5					1.294				
793	2.78	1.498	1.499	1.764	1.576	2.77	1.294	1.293	1.132	2.446	-35.82%
		1.5					1.294				
		1.498					1.292				
		1.498					1.294				
		1.5					1.294				
794	2.80	1.5	1.500	1.769	1.583	2.77	1.296	1.294	1.134	2.442	-35.85%
		1.5					1.292				
		1.502					1.294				
		1.5					1.296				
		1.502					1.294				
		1.5					1.296				
795	2.79	1.502	1.501	1.770	1.576	2.77	1.294	1.294	1.136	2.439	-35.84%
		1.5					1.292				
		1.5					1.294				
		1.5					1.294				
		1.502					1.292				
		1.498					1.294				
796	2.80	1.502	1.500	1.767	1.584	2.77	1.292	1.294	1.134	2.442	-35.80%
		1.498					1.294				
		1.5					1.296				
		1.5					1.294				
		1.502					1.292				
		1.498					1.294				
		1.5					1.296				
797	2.78	1.5	1.499	1.763	1.577	2.77	1.294	1.293	1.131	2.448	-35.83%
		1.498					1.292				
		1.498					1.294				
		1.5					1.294				
		1.502					1.292				
		1.5					1.294				
798	2.78	1.498	1.500	1.769	1.572	2.77	1.296	1.294	1.136	2.439	-35.79%
		1.5					1.296				
		1.502					1.294				
		1.502					1.294				
		1.502					1.296				
		1.498					1.294				
799	2.79	1.498	1.501	1.770	1.576	2.77	1.294	1.294	1.136	2.439	-35.84%
		1.5					1.296				
		1.502					1.292				
		1.502					1.292				
		1.502					1.292				
		1.498					1.296				
800	2.77	1.5	1.500	1.766	1.569	2.77	1.294	1.294	1.133	2.444	-35.81%
		1.5					1.294				
		1.498					1.292				