

## Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



### “DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA”

**Tesis presentada por la Bachiller:**

Santos Rocha Mayra Erika

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Civil

**Asesor de Tesis:**

Ing. Rosas Espinoza Jorge

**AREQUIPA – PERÚ**

**2018**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE  
TERMOARCILLA"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

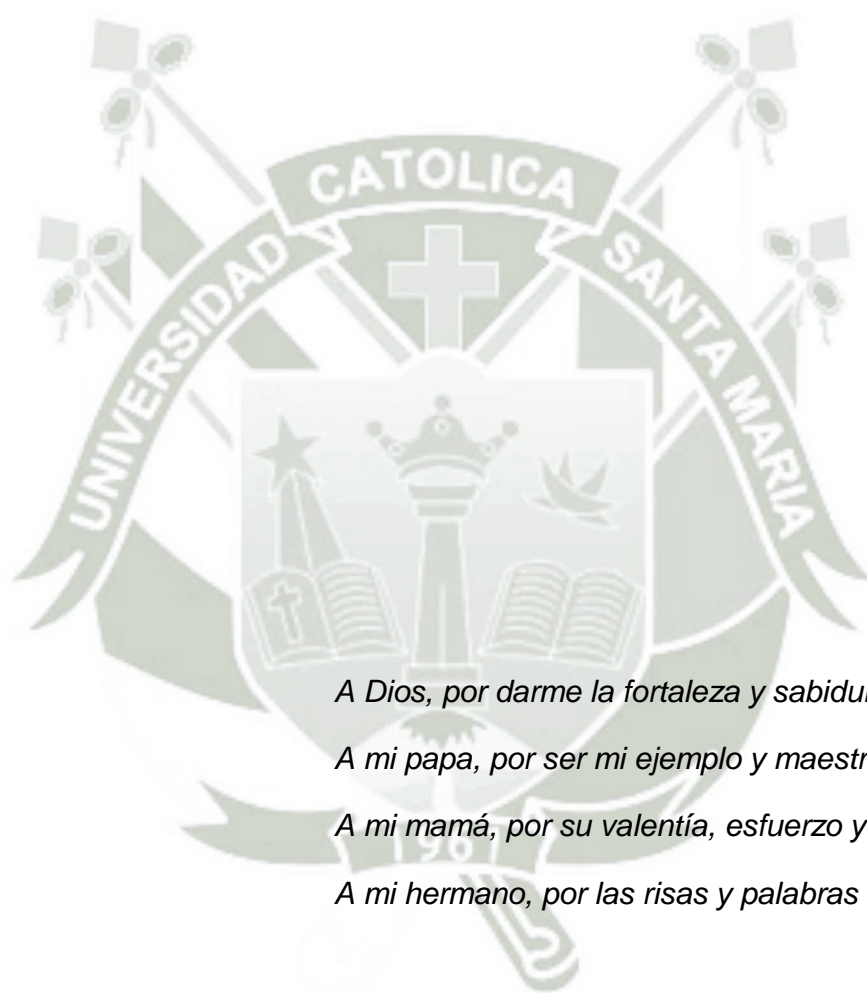
—

Arequipa, 22 de MARZO del 2018

1949

2766

1938



*A Dios, por darme la fortaleza y sabiduría.*

*A mi papa, por ser mi ejemplo y maestro.*

*A mi mamá, por su valentía, esfuerzo y compañía.*

*A mi hermano, por las risas y palabras de aliento.*

*Con todo mi amor para ustedes, son las razones por las que sigo en pie.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a la Universidad Católica de Santa María mi alma máter y a cada uno de mis profesores por la inestimable contribución a mi formación personal y profesional a lo largo de mi carrera universitaria.

Deseo expresar muy particularmente mi gratitud hacia la empresa industrial Ouro Vermelho Perú por el apoyo y las facilidades brindadas para utilizar sus instalaciones y equipo para la elaboración de esta investigación. A los jefes de planta y producción, Delfín Apaza y Miguel Quellcca, por sus esfuerzos, ingenio, humor y extensas horas de trabajo en el desarrollo de este proyecto.

También deseo agradecer a todo el equipo de trabajo del Laboratorio de Ensayo de Materiales UNI – LEM de la Universidad Nacional de Ingeniería, especialmente a la Ing. Ana Torre Carrillo por el apoyo brindado durante mi estadía en el laboratorio.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que de alguna u otra manera han colaborado en esta investigación.

## RESUMEN

La investigación realizada nace a raíz del precario comportamiento térmico de las albañilerías de ladrillo de arcilla nacional, que sumado a los diferentes niveles de exigencias térmicas según las zonas bioclimáticas peruanas, muestra la necesidad del desarrollo de unidades que permitan un mejoramiento térmico, acompañado de la viabilidad técnica y económica para lograr dicha solución.

El estudio se enfocó en el desarrollo de una nueva unidad cerámica, basándose en encontrar convenientemente la mejor distribución, tamaño y contenido de cámaras de aire en la geometría de la unidad para la mejora de su comportamiento térmico, sin afectar su resistencia y durabilidad.

La geometría del bloque fue uno de los factores más importantes a la hora de evaluar el comportamiento térmico, puesto que la disposición de las celdillas y el espesor de los tabiquillos internos tienen gran influencia en la transmisión de calor. Fue necesario diseñar diferentes geometrías que permitan reducir este espesor tanto como fuese posible, para generar perforaciones que mejoren la transmisión de calor por conducción, tomando en cuenta las limitaciones propias del moldeo por extrusión y los procesos de secado y cocción de la pieza.

Para definir la materia prima a emplear, se realizó un estudio a la arcilla de diferentes zonas de la región de Cusco, a nivel de granulometría, plasticidad y composición química. Además, se incorporó perlitas de poliestireno expandido en la masa, las cuales se gasifican en cocción, mejorando sustancialmente las características térmicas de la unidad, debido a la porosidad añadida que le otorga. La adición de dichos materiales granulares se ejecutó para diferentes dosificaciones y de manera muy controlada, ya que fue preciso no comprometer la resistencia mecánica y acabado final del bloque. Esta investigación se realizó con apoyo de la empresa ladrillera mecanizada Ouro Vermelho Perú, la cual brindó el soporte técnico para la fabricación de las piezas industriales.

La unidad de albañilería desarrollada se evaluó en función a la normativa peruana vigente, sometiéndola a ensayos clasificatorios y no clasificatorios para determinar las propiedades de la misma. Respecto a las características de la albañilería se elaboraron prismas, los cuales se ensayaron en el Laboratorio de Materiales UNI – LEM, y a su vez, se realizaron muretes que fueron sometidos a resistencia al fuego para establecer el comportamiento térmico de la unidad.

Palabras clave: Albañilería, unidad de albañilería, bloque de termoarcilla, ladrillo, arcilla, transmisión de calor, poliestireno.

## ABSTRACT

The research carried out was born in the wake of the precarious thermal performance of the brick masonry made from national clay, which combined with different levels of thermal requirements according Peruvian bioclimatic zones shows the need for the development of units that allow for thermal improvement, accompanied by the technical and economic viability to achieve said solution.

The study focused on the development of a new ceramic unit, based on conveniently finding the best distribution, size and content of air chambers in the geometry of the unit to improve its thermal behavior, without affecting its strength and durability.

The geometry of the block was one of the most important factors when evaluating the thermal behavior, since the arrangement of the cells and the thickness of the internal walls have a great influence on heat transmission. It was necessary to design different geometries that allow to reduce this thickness as much as possible, to generate perforations that improve the transmission of heat by conduction, taking into account the own limitations of the extrusion molding and the drying and baking processes of the piece.

In order to define the raw material that was to be used a study was conducted on the clay from different zones of the Cusco region, at the level of particle size, plasticity and chemical composition. In addition, expanded polystyrene perlite were incorporated into the dough, which was gasified during baking, substantially improving the thermal characteristics of the unit, due to the added porosity it provides. The addition of said granular materials was carried out for different dosages and in a very controlled manner, since it was necessary not to compromise the mechanical strength and final finish of the block. This research conducted with the support of the mechanized brick company Ouro Vermelho Perú, which provided technical support for the manufacture of industrial units.

The developed masonry unit was evaluated according to the current Peruvian regulations, subjecting it to classifying and non-classifying tests to determine its properties. In regards to the characteristics of the masonry, prisms were developed, which were tested in the Laboratory of Materials UNI – LEM, and in turn, walls were produced and subjected to fire resistance to establish the thermal behavior of the unit.

**Keywords:** Masonry, masonry unit, honeycomb clay block, brick, clay, heat transmission, polystyrene.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1.    Introducción.....	1
1.2.    Planteamiento del problema .....	2
1.3.    Objetivos.....	3
1.3.1.    Objetivo General .....	3
1.3.2.    Objetivos Específicos .....	3
1.4.    Hipótesis.....	3
1.5.    Variables.....	3
1.6.    Estructura del contenido .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1.    Unidad de albañilería de arcilla .....	6
2.1.1.    Historia de la unidad cerámica como material de construcción .....	6
2.1.2.    Definición de la unidad de albañilería .....	10
2.1.3.    Tipología de las unidades de albañilería.....	10
2.1.4.    Propiedades y principales características.....	11
2.1.5.    Técnicas de elaboración.....	11
2.2.    Situación de la normativa.....	12
2.2.1.    Normativa en el ámbito nacional .....	12
2.2.2.    Normativa en el ámbito internacional .....	13
2.2.2.1.    Colombia.....	13
2.2.2.2.    Chile.....	13
2.2.2.3.    España.....	14
2.3.    Traspaso y propagación del calor.....	15
2.3.1.    Situación de la normativa .....	15
2.3.2.    Confort térmico .....	16
2.3.3.    Aislamiento térmico .....	17
2.3.4.    Envoltura térmica .....	17
2.3.5.    Puente térmico.....	18
2.3.6.    Calor.....	18
2.3.7.    Temperatura .....	18
2.3.8.    Métodos de transferencia de calor .....	19
2.3.8.1.    Conducción.....	19

2.3.8.2.	Convección .....	20
2.3.8.3.	Radiación .....	20
2.3.9.	Conceptos de transmisión térmica .....	21
2.3.9.1.	Transmitancia térmica .....	21
2.3.9.2.	Conductividad térmica .....	21
2.3.9.3.	Coefficiente superficial de transmisión térmica .....	22
2.3.9.4.	Resistencia térmica .....	22
2.3.9.5.	Transmitancia térmica final para cada tipo de envolvente .....	22
<b>CAPÍTULO III: ATRIBUTOS EXIGIDOS Y CONCEPTOS DE DISEÑO EN UNIDADES CERÁMICAS .....</b>		<b>24</b>
3.1.	Atributos exigidos .....	24
3.1.1.	Exigencias de los consumidores .....	24
3.1.2.	Exigencias de la normativa peruana .....	25
3.2.	Conceptos de diseño en unidades cerámicas .....	27
3.2.1.	Introducción .....	27
3.2.2.	Aspectos térmicos involucrados en la determinación de los conceptos de diseño .....	29
3.2.2.1.	Transferencia de calor a través de la unidad por conducción .....	29
3.2.2.2.	Transferencia de calor a través de la unidad por convección .....	30
3.2.2.3.	Transferencia de calor a través de la unidad por radiación .....	31
3.2.3.	Aspectos físicos y morfológicos involucrados en la determinación de los conceptos de diseño .....	32
3.2.3.1.	Requisitos exigidos por la norma E.070 Albañilería .....	32
3.2.3.2.	Requisitos relacionados al proceso de fabricación .....	32
3.2.3.3.	Requisitos relacionados a la geometría propia de la unidad .....	34
3.3.	Principios de diseño .....	36
3.3.1.	Principios de diseño según los aspectos térmicos .....	36
3.3.1.1.	Principios de diseño a partir de los conceptos de conducción .....	36
3.3.1.2.	Principios de diseño a partir de los conceptos de convección .....	37
3.3.1.3.	Principios de diseño a partir de los conceptos de radiación .....	37
3.3.2.	Principios de diseño según los aspectos físicos y morfológicos .....	38
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD .....</b>		<b>39</b>
4.1.	Desarrollo de los principios de diseño .....	39
4.1.1.	Máxima trayectoria térmica .....	39
4.1.2.	Cámara interna de aire en la unidad .....	40
4.1.3.	Configuración geométrica machihembrada .....	40

4.1.4.	Incorporación de aditivos en la materia prima .....	41
4.1.5.	Dimensiones de la unidad .....	41
4.2.	Evolución en el diseño de la geometría del bloque.....	43
<b>CAPÍTULO V:</b>	<b>BLOQUES DE TERMOARCILLA.....</b>	<b>48</b>
5.1.	Definición.....	48
5.2.	Componentes del bloque de termoarcilla .....	48
5.2.1.	Materia prima (Arcilla).....	48
5.2.1.1.	Los yacimientos .....	48
5.2.1.2.	Composición granulométrica de la materia prima .....	49
5.2.1.3.	Composición química de la materia prima.....	50
5.2.2.	Agua.....	54
5.2.3.	Perlitas de poliestireno expandido .....	55
<b>CAPÍTULO VI:</b>	<b>METODOLOGÍA Y MATERIALES .....</b>	<b>56</b>
6.1.	Metodología.....	56
6.2.	Materia Prima .....	57
6.2.1.	Ensayos a la materia prima .....	57
6.2.1.1.	Análisis granulométrico por tamizado y sedimentación .....	57
6.2.1.2.	Gravedad específica de sólidos .....	59
6.2.1.3.	Límites de consistencia .....	60
6.2.1.4.	Composición química .....	62
6.2.2.	Resultados de los ensayos a la materia prima .....	63
6.2.2.1.	Suelo de Jancoca .....	64
6.2.2.2.	Suelo de Langui.....	68
6.2.2.3.	Suelo de Languilago.....	71
6.3.	Composición de la mezcla de suelo .....	74
6.4.	Dosificación de perlitas de poliestireno expandido en la materia prima.....	82
<b>CAPÍTULO VII:</b>	<b>FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA.....</b>	<b>84</b>
7.1.	Extracción de la materia prima .....	85
7.2.	Preparación de la materia prima.....	85
7.3.	Producción de las unidades de albañilería.....	86
7.4.	Secado .....	89
7.5.	Cocción.....	90
<b>CAPÍTULO VIII:</b>	<b>UNIDADES DE ALBAÑILERÍA.....</b>	<b>92</b>
8.1.	Método de ensayos en unidades de albañilería.....	92
8.1.1.	Ensayos clasificatorios .....	92

8.1.1.1.	Ensayo de variación dimensional.....	92
8.1.1.2.	Ensayo de alabeo.....	93
8.1.1.3.	Ensayo de resistencia a compresión .....	94
8.1.2.	Ensayos no clasificatorios .....	96
8.1.2.1.	Porcentaje de vacíos .....	96
8.1.2.2.	Ensayo de succión .....	97
8.1.2.3.	Ensayo de absorción .....	98
8.1.2.4.	Ensayo de absorción máxima .....	99
8.1.2.5.	Ensayo de densidad .....	100
8.1.2.6.	Ensayo de eflorescencia .....	101
8.2.	Resultados .....	103
8.2.1.	Fase I .....	103
8.2.1.1.	Variación dimensional .....	103
8.2.1.2.	Alabeo.....	106
8.2.1.3.	Resistencia a la compresión .....	108
8.2.2.	Fase II .....	111
8.2.2.1.	Porcentaje de vacíos .....	111
8.2.2.2.	Succión .....	114
8.2.2.3.	Absorción.....	116
8.2.2.4.	Absorción máxima .....	118
8.2.2.5.	Densidad.....	120
8.2.2.6.	Eflorescencia .....	123
8.3.	Análisis de resultados .....	125
<b>CAPÍTULO IX: PRISMAS DE ALBAÑILERÍA .....</b>		<b>126</b>
9.1.	Mortero .....	126
9.1.1.	Definición de mortero.....	126
9.1.2.	Composición del mortero.....	126
9.1.3.	Dosificación del mortero .....	128
9.1.4.	Ensayo de resistencia a la compresión del mortero .....	128
9.2.	Ensayo de adherencia al cizalle .....	130
9.2.1.	Componentes y descripción del equipo de ensayo .....	130
9.2.2.	Construcción y preparación de especímenes .....	130
9.2.3.	Ensayo de adherencia por cizalle .....	133
9.2.4.	Tipo de falla .....	134
9.2.5.	Resultados .....	135

9.3.	Ensayo a Compresión Axial en Pilas .....	137
9.3.1.	Componentes y descripción del equipo de ensayo .....	137
9.3.2.	Construcción y preparación de especímenes .....	137
9.3.3.	Ensayo de resistencia a compresión axial .....	139
9.3.4.	Tipo de falla .....	140
9.3.5.	Resultados de resistencia a compresión axial en pilas .....	142
9.3.6.	Resultados del módulo de elasticidad .....	143
9.4.	Ensayo a Compresión Diagonal en Muretes .....	146
9.4.1.	Componentes y descripción del equipo de ensayo .....	146
9.4.2.	Construcción y preparación de especímenes .....	147
9.4.3.	Ensayo de resistencia a compresión diagonal .....	149
9.4.4.	Tipo de falla .....	151
9.4.5.	Resultados de compresión diagonal en muretes .....	153
9.4.6.	Resultados del módulo de corte .....	155
9.4.6.1.	Muretes de bloque de termoarcilla con junta vertical y horizontal de mortero .....	155
9.4.6.2.	Muretes de bloque de termoarcilla con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero .....	159
<b>10.</b>	<b>ENSAYO TÉRMICO .....</b>	<b>164</b>
10.1.	Descripción del método de ensayo .....	164
10.2.	Componentes y descripción del equipo de ensayo .....	164
10.2.1.	Horno de ensayo .....	165
10.2.2.	Cámara fría .....	166
10.2.3.	Instrumentos de medición .....	166
10.2.4.	Software .....	166
10.3.	Construcción y preparación de los especímenes .....	167
10.4.	Resultados .....	169
10.4.1.	Muro de ladrillo king kong (junta vertical y horizontal de mortero) ....	169
10.4.1.1.	Horno (cámara caliente) .....	169
10.4.1.2.	Unidad de albañilería – ladrillo king kong .....	170
10.4.1.3.	Junta vertical de mortero .....	170
10.4.2.	Muro de bloques de termoarcilla (junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero) .....	172
10.4.2.1.	Horno (cámara caliente) .....	172
10.4.2.2.	Unidad de albañilería – bloque de termoarcilla .....	173

10.4.2.3. Junta vertical machihembrada .....	173
10.5. Análisis de resultados .....	175
10.6. Transmitancia térmica del muro.....	178
10.6.1. Muro de ladrillo king kong (junta vertical y horizontal de mortero) ....	180
10.6.2. Muro de bloque de termoarcilla (junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero).....	182
<b>CAPÍTULO XI: ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO.....</b>	<b>184</b>
11.1. Análisis de costos de la unidad.....	184
11.2. Análisis comparativo de costos.....	186
11.2.1. Muro de ladrillo king kong.....	186
11.2.2. Muro de bloque de termoarcilla .....	187
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>189</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>193</b>
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>194</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>195</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS.....</b>	<b>198</b>
<b>LISTADO DE GRÁFICOS.....</b>	<b>200</b>
<b>LISTADO DE TABLAS .....</b>	<b>202</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>204</b>

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

Se estima que cerca de 1.6 billones de personas alrededor del mundo viven en condiciones inseguras, 1 billón de ellos viven en lugares informales y más de 100 millones de personas en el mundo viven en tugurios (Hábitat, 2016). En el Perú, el déficit habitacional total al año 2014 fue de más de 1.2 millones de unidades y se estima su crecimiento para 3 millones en el 2020. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

La necesidad en los seres humanos, de protegerse contra los efectos climáticos, ha sido un reto permanente con el que el hombre se ha tenido que enfrentar desde sus orígenes, en donde se buscaba la construcción de viviendas seguras y resistentes a estas inclemencias (lluvia, viento, sismos).

Sin embargo, antiguamente se consideraba que el aislamiento térmico no era un problema importante que afectase al desenvolvimiento cotidiano de las personas, tal como lo cita E. Diamant, en la década del 80, en su obra “Aislamiento Térmico y Acústico en Edificios”, en donde señala:

“Probablemente, ningún tema había sido tan descuidado en nuestra era técnica como el adecuado aislamiento de los edificios. No obstante, es difícil encontrar una mayor exigencia primaria en los seres humanos que la necesidad de mantenerse calientes en invierno y frescos en verano.”

Progresivamente, se ha ido generalizando la idea de que, un adecuado aislamiento de muros proporciona diversas ventajas como lo es la reducción en los sistemas de calefacción y aire acondicionado, trayendo consigo un ahorro en el presupuesto. Asimismo, proporciona un ambiente agradable en la habitación, generando de cierto modo un mayor confort en el interior.

Por ello, en la actualidad, la necesidad de viviendas sostenibles ha impulsado a la investigación de nuevos materiales asequibles y nuevas técnicas constructivas de construcción precisando que, todos aquellos involucrados en este ámbito, deban conocer los fenómenos fundamentales referidos al campo térmico.

Con la evolución tecnológica, hoy en día se ha llegado a la utilización de materiales ligeros o rápidos de fabricar y montar en la construcción, que no necesariamente resuelven los problemas térmicos ni generan un ahorro de energía desde el punto de vista térmico.

Los elementos envolventes de una vivienda, como lo son los muros de cerramiento, son los que cumplen un papel fundamental en el aislamiento, ya que las condiciones externas inciden directamente en ellos y la conservación de la temperatura al interior de la habitación depende de estos, sin dejar de lado a las demás envolventes conformadas por los techos y pisos. De ahí la importancia de mejorar las propiedades térmicas de aquellos materiales más empleados en el ámbito nacional, como lo es la unidad de arcilla industrial, predominante en las construcciones de nuestro país.

## 1.2. Planteamiento del problema

Las edificaciones en el Perú, tradicionalmente, son construidas utilizando muros de albañilería confinada, los cuales en su mayoría utilizan unidades de arcilla cocida; sin embargo, se descuida el concepto del aislamiento térmico de viviendas y edificios.

Debido a las condiciones geográficas y climáticas propias de nuestro país, se pone aún más en manifiesto, además de la buena resistencia y comportamiento sísmico, viviendas que tengan un mayor confort térmico, así como un ahorro de energía.

Dentro de este contexto al analizar las propiedades térmicas de los ladrillos (unidades) cerámicos nacionales, se aprecia que el poder aislante de estos es insuficiente para las exigencias que plantea la normativa EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética.

Los ladrillos de arcilla fabricados en nuestro país, poseen atributos higrotérmicos que se comparan negativamente con los niveles de los productos extranjeros. Por ejemplo, en las piezas cerámicas españolas; a pesar que los procesos de fabricación como las características y propiedades de las arcillas con las que se produce el ladrillo son similares a las que se ocupan en Perú, las unidades varían radicalmente en la forma, tamaño y en las propiedades térmicas que entrega el material, logrando valores entre 0.20 y 0.35 W/[m K], valores inferiores a los que se tiene en las unidades típicas utilizadas en nuestro país, de 0.47 a 0.84 W/[m K]. Esto indicaría que al generar un adecuado diseño y constitución interna de la unidad, se estaría mejorando la conductividad térmica del material.

Es por ello que esta investigación estará enfocada en el estudio y elaboración de una nueva unidad de albañilería que presente una mejora sustancial en sus características térmicas, a partir de una conveniente distribución geométrica, tamaño y materia prima empleada en su composición, factores que repercutirán en sus propiedades y en el costo durante la construcción al emplear dichas unidades.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Proponer un bloque de termoarcilla con determinadas propiedades que le brinden un comportamiento adecuado frente a carga sísmica y un mejor aislamiento térmico a las viviendas, generando un mayor confort y ahorro económico a los habitantes.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características de la arcilla para desarrollar la unidad de albañilería a investigar.
- Determinar la dosificación óptima de arcilla, poliestireno expandido y agua en la composición del bloque térmico, que permita lograr cualidades físicas y mecánicas adecuadas al menor costo de fabricación.
- Verificar a través de ensayos que el bloque de arcilla propuesto tenga un buen comportamiento según lo establecido en la Norma Peruana E.070 de Albañilería.
- Comprobar el incremento en el aislamiento térmico del bloque de termoarcilla en referencia a otras unidades de albañilería a través de ensayos.
- Desarrollar un bloque de termoarcilla que esté al alcance de las personas, de fácil instalación y que brinde un ahorro económico en la construcción de viviendas.
- Comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los resultados de investigaciones previas referentes a albañilería.

### 1.4. Hipótesis

Teniendo en cuenta que la composición y la configuración interna de los bloques de arcilla permiten que este sea empleado como unidad de albañilería en el Perú, al incrementar el índice de poros y modificar su geometría, se obtendrá un bloque de termoarcilla con un mejor aislamiento térmico, sin afectar su resistencia y durabilidad.

### 1.5. Variables

#### a) Variables independientes

- Tipo de materia prima
- Humedad de la materia prima
- Dosificación de perlitas de poliestireno expandido
- Geometría del bloque

- Presión de extrusión
- Temperatura de cocción

b) Variables dependientes

- Absorción de la unidad
- Densidad de la unidad
- Resistencia a la compresión de la unidad
- Resistencia característica a la compresión de la albañilería
- Resistencia característica al corte de la albañilería
- Conductividad térmica de la unidad

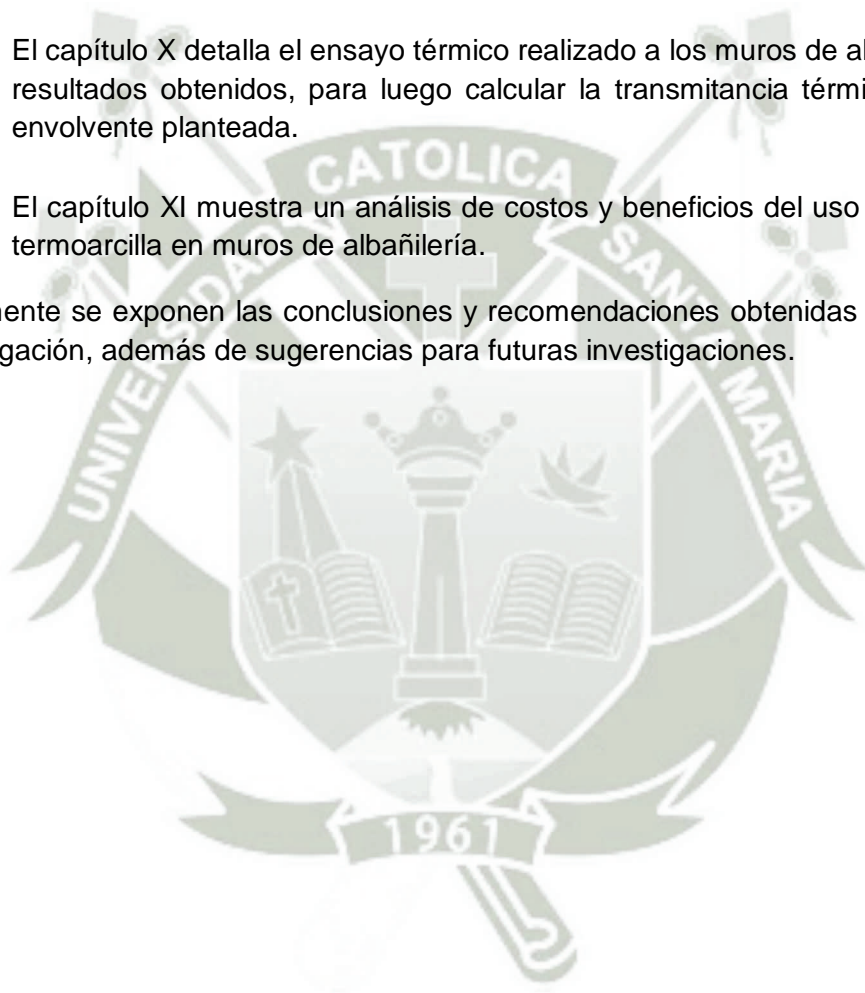
### 1.6. Estructura del contenido

Esta investigación consta de once capítulos, para los cuales se presenta un breve resumen a continuación:

- El capítulo I proporciona las generalidades de la presente investigación como lo es la introducción y el planteamiento del problema; así como los objetivos, hipótesis y las variables consideradas.
- El capítulo II es una revisión de la unidad de albañilería y los conceptos básicos de traspaso y propagación de calor. Incluye la historia, los componentes y las técnicas de elaboración que le confieren a los bloques y ladrillos las propiedades que los caracterizan. Además, se hace una revisión de diferentes normativas referidas a las unidades utilizadas en la construcción en diversos países.
- El capítulo III explica los atributos exigidos para el diseño de las unidades cerámicas. Se expone las principales exigencias de los consumidores y de la normativa peruana. A su vez, se estudian los conceptos de diseño térmico, físico y morfológico que deben considerarse para el diseño de la geometría de la unidad.
- El capítulo IV detalla los principios considerados para el diseño del bloque y a su vez muestra la evolución geométrica del diseño de la unidad elaborada.
- El capítulo V describe los bloques de termoarcilla y los componentes que integran la unidad. Se hace un estudio analítico de la materia prima a nivel de composición granulométrica y química.
- El capítulo VI describe la metodología empleada para la elaboración y ensayo de los bloques, partiendo de los ensayos realizados a la materia prima y la posterior composición de la mezcla de suelo a extrudir. Además, se muestra las diferentes dosificaciones de poliestireno empleadas en la masa arcillosa de las unidades.

- El capítulo VII abarca el proceso de elaboración de los bloques de termoarcilla empleando el método de moldeo por extrusión.
- El capítulo VIII aborda los ensayos realizados a las unidades de albañilería, así como los resultados obtenidos, para luego verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa y seleccionar el diseño que mejor satisfaga los mismos.
- El capítulo IX detalla los ensayos realizados a los prismas de albañilería, además de la composición y ensayos realizados al mortero.
- El capítulo X detalla el ensayo térmico realizado a los muros de albañilería y los resultados obtenidos, para luego calcular la transmitancia térmica total de la envolvente planteada.
- El capítulo XI muestra un análisis de costos y beneficios del uso del bloque de termoarcilla en muros de albañilería.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas del trabajo de investigación, además de sugerencias para futuras investigaciones.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

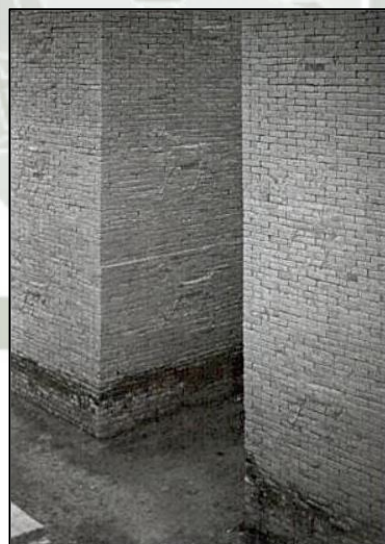
### 2.1. Unidad de albañilería de arcilla

#### 2.1.1. Historia de la unidad cerámica como material de construcción

La albañilería en general, fue inventada por un nómada hace más de 15.000 años el cual, para guarecerse de los fenómenos climáticos, construyó un refugio apilando piedras. Posteriormente, la incorporación del mortero de barro, permitía también asentar con mayor facilidad elementos de mayor altura.

El ladrillo de arcilla es, probablemente, el material de construcción de mayor antigüedad fabricado y usado por el hombre, con una edad de hace más de 11.000 años. En aquellos lugares en donde no se podía encontrar piedras o madera adecuadas para la construcción, fue donde se desarrolló y utilizó primero el ladrillo.

Los ladrillos más antiguos que se conocen se encontraron en las construcciones de Mesopotamia, que datan alrededor del año 7000 a.C., donde la pieza de barro tenía forma de un gran pan moldeado con la mano y secado al sol al igual que las piezas en formato de cono encontradas en Huaca Prieta, Perú, con una antigüedad de 4000 a.C.

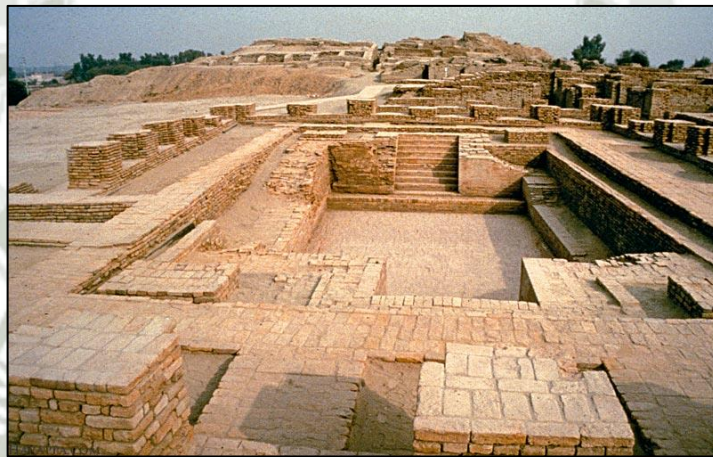


*Figura 1: Muros masivos de albañilería característicos de la construcción en Sumeria. Fuente Gallegos & Casabonne*

Posteriormente, un avance sustantivo fue el uso del molde para facilitar la producción rápida de unidades iguales, representado en la ciudad de Babilonia (1800 a.C.) donde se muestra el esplendor y magnificencia de una arquitectura desarrollada en base a ladrillo crudo de arcilla secado al sol, conocido en Perú como adobe.

Es a partir del 3500 a.C. en donde se da un importante avance en la albañilería cerámica: la cocción. En este periodo, el adobe es sometido a cocción brindándole una resistencia similar a la piedra, con la ventaja del moldeado previo y la reducción de costos en la construcción en comparación con la piedra. Esta albañilería se convirtió entonces en el material fundamental de las construcciones más importantes en la antigüedad.

En Oriente, particularmente a lo largo de la antigua cultura del valle del Indo, las ruinas de Mohenjo – Daro y Harappa (2600 – 1800 a.C.) encontradas en el actual Pakistán, muestran el uso intensivo del ladrillo cerámico tanto en los asentamientos urbanos bien desarrollados como en las murallas defensivas, pavimentos y en un impresionante sistema de alcantarillado.



*Figura 2: Ruinas de Mohenjo – Daro y Harappa al noroeste de la India.*

En China, los ladrillos más primitivos tienen una antigüedad estimada de 3800 años. Se acostumbró a firmar y tallar los ladrillos empleados en los palacios reales en los cuales se estampaban la simbología característica de la dinastía, como la Dinastía de los Zhou y la de los Han.

Mientras tanto, en Egipto, se prefirió para las grandes obras la roca traída de las montañas cercanas al Nilo. El uso de ladrillo cerámico se utilizó en obras comunes y sencillas. Estos ladrillos eran marcados de varias formas y medían normalmente 8 x 10 x 16 cm, pero se usaba también un tamaño mayor de 10 x 14 x 30 cm.

Tanto en Egipto como en Grecia y Roma la construcción importante es de piedra, lo cual limitaba las posibilidades de su empleo debido a la poca resistencia a tracción del material, exigiendo luces pequeñas. Sin embargo, a pesar de su pasión por la piedra como elemento arquitectónico, los romanos utilizaron con similar vocación la construcción con ladrillo.

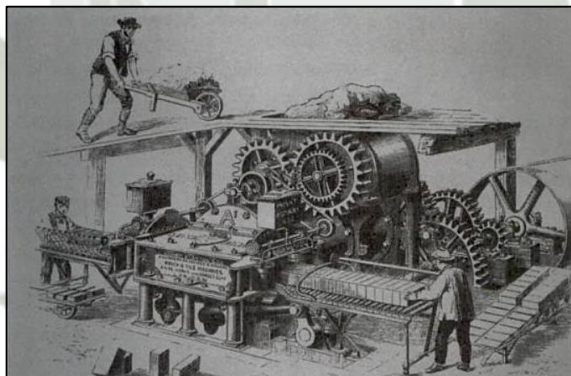
El empleo del mortero junto con piedras y ladrillos, permitió muros de albañilería más esbeltos y construidos en menor tiempo y costo, además de ser un material muy resistente que podía elaborarse de diversas formas y tamaños. Un ejemplo bien conservado son las Termas de Caracalla (212 – 217 d.C.), en las que se empleó una

mezcla de ladrillo y hormigón romano (mortero), decorados y recubiertos con mármol o piedra.



*Figura 3: Termas de Caracalla en Roma.*

Es a partir del siglo XVIII que con la revolución industrial iniciada en Inglaterra, la aplicación de la albañilería de ladrillos de arcilla cerámica se extendió. El desarrollo de máquinas como molinos, trituradoras, mezcladoras de materia prima y extrusoras para el moldeado de las unidades perfeccionaron la fabricación de la albañilería de arcilla cocida. Sin embargo, el principal cambio y mejora en este ámbito fue el rediseño de los hornos, que consiguió economizar el combustible para la quema, acompañado de un análisis de las materias primas y un mejor control de temperaturas durante el proceso de cocción, con la consecuente base para la formulación de las normas relacionadas al comportamiento del ladrillo.



*Figura 4: Máquina de Clayton para el proceso de extrusión.*

El uso del ladrillo rápidamente se popularizó en el mundo al ser una técnica sencilla y económica, que acortaba los tiempos de construcción, utilizándose al ladrillo no sólo como elemento decorativo sino también como elemento estructural, mostrado en las cúpulas ejecutadas con ladrillo en Turquía.

En la actualidad, se conservan monumentales construcciones medievales y renacentistas hechas de ladrillo particularmente en España, Italia, Francia, Holanda y Alemania.

En tanto, en América, las civilizaciones precolombinas no muestran antecedentes del uso del ladrillo ya que para la mayoría de construcciones importantes se recurría a la piedra cortada y pulida. Los Incas y sus predecesores, utilizaron tanto la piedra, como el adobe y la caña en todo tipo de construcciones. Es a partir del siglo XX, con la llegada de los españoles a Perú, que se incorpora el uso del ladrillo cocido a las nuevas construcciones, pero el adobe, por razones de economía y facilidad, aun se continúa utilizando.

Durante muchos años, la falta de conocimiento ingenieril respecto al material limitaba su análisis y dimensionamiento racional, razón por la cual se construían edificios con muros de albañilería simple de grandes espesores. Sin embargo, en los últimos 50 años, sobre la bases de las investigaciones realizadas en todo el mundo, el empleo de la albañilería se incrementó.

Al encontrarse nuestro país en una región sísmica, la construcción de muros de albañilería se ha popularizado especialmente en el empleo en viviendas multifamiliares de hasta cinco pisos, de muros portantes de 12 a 24 cm de espesor con marcos de concreto armado.



*Figura 5: Edificios multifamiliares de vivienda en el Perú.*

Durante los últimos 60 años, el avance tecnológico en la producción de ladrillos y en las correspondientes normativas ha tenido grandes mejoras, incrementando la producción y la calidad de las unidades cerámicas a nivel mundial para su aplicación en la albañilería.

### 2.1.2. Definición de la unidad de albañilería

La unidad de albañilería es el principal componente de la albañilería. Dichas unidades pueden denominarse ladrillos o bloques según sus dimensiones y su peso. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y un peso (inferior a 6 kg) que permiten su manipuleo con una sola mano. En el caso de los bloques, son manipulados con ambas manos debido a las consideraciones antes señaladas.

Las unidades pueden elaborarse con diversas materias primas: arcilla, concreto o sílice – cal, y producidas en condiciones bastante disímiles empleándose diferentes métodos para su elaboración.

Las unidades de arcilla empleadas en Perú usualmente son ladrillos, llamados también ladrillos cerámicos, los cuales se elaboran por moldeo con presión y por extrusión. Dada las características propias de la arcilla y de las técnicas de elaboración, las piezas naturalmente tienen superficies lisas y rugosas, según las características del material empleado para su moldeo y extrusión. Aun así, la porosidad visible que se genera en sus caras de asentado, brindan propiedades positivas para su uso en la albañilería, como lo es la adhesión.

### 2.1.3. Tipología de las unidades de albañilería

La Norma Peruana de Albañilería E.070 y también normas internacionales, clasifican a las unidades según el porcentaje de alveolos que tienen en su superficie de asentado y por la disposición que estos tengan. Por lo tanto, para el mismo tipo de unidades, puede haber ladrillos y bloques, ya que no depende ni del material ni del tamaño de las unidades.

En función a lo antes mencionado, los diferentes tipos de unidades son los siguientes:

- a) Unidades sólidas o macizas: son unidades que no tienen perforaciones, y si las tienen, los alveolos son perpendiculares a la superficie de asiento y ocupan un área menor al 30% del área bruta.
- b) Unidades huecas: son aquellas unidades en la que las perforaciones son perpendiculares a la superficie de asiento y ocupan un área mayor al 30% del área bruta.
- c) Unidades alveolares: son unidades sólidas o huecas cuyos alveolos tienen el tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical, las cuales se emplean en la construcción de los muros armados.
- d) Unidades tubulares: son unidades en donde los alveolos están dispuestos en forma paralela a la superficie de asiento.

#### 2.1.4. Propiedades y principales características

Las principales propiedades de las unidades deben conocerse para tener un concepto más claro de la resistencia de la albañilería, así como su durabilidad ante el intemperismo.

Es importante resaltar que para tener una buena calidad de albañilería depende además de la unidad, del mortero empleado y de la técnica constructiva y mano de obra utilizada.

En este contexto, las propiedades de la unidad relacionadas a la resistencia de la albañilería son:

- Resistencia a la compresión
- Variabilidad dimensional, especialmente en relación a la altura de la unidad
- Alabeo
- Succión

Asimismo, las propiedades relacionadas con la durabilidad son:

- Resistencia a la compresión
- Absorción y absorción máxima
- Eflorescencia

#### 2.1.5. Técnicas de elaboración

La técnica de elaboración influye decisivamente en la calidad final de la unidad de albañilería, la variabilidad de sus propiedades y su textura. Ya que el proceso de fabricación es muy variado, en el mercado puede encontrarse unidades artesanales, semi – industriales e industriales; empleando para su moldeado métodos de compactación, o en el caso de la arcilla, también de extrusión industrial.

Esta última técnica será la empleada en esta investigación, puesto que brinda la mejor calidad de entre todos los métodos de elaboración, representada en una menor variación de las propiedades de las unidades en cuanto a su forma, resistencia y dimensiones, dependiendo tanto de la materia prima y de su amasado, como de la presión de extrusión y la calidad del equipo utilizado, como se verá más adelante.

Además, este método es el único que permite elaborar unidades con diseños complejos, manteniendo los espesores de los tabiques internos idénticos en toda la unidad y extruidos con la misma presión de vacío, sin generar zonas débiles propensas a fisuras y deformaciones.

## 2.2. Situación de la normativa

Dado que la unidad cerámica es uno de los materiales de construcción más empleado en la albañilería, tanto a nivel nacional como internacional, la gran mayoría de países ha normalizado su uso con la finalidad de controlar su aplicación en función a las solicitudes propias de su país.

Sin embargo, podemos encontrar ciertas semejanzas entre los variados reglamentos y las técnicas de ensayo utilizadas en la albañilería mundial, tal como se detallan a continuación.

### 2.2.1. Normativa en el ámbito nacional

En el Perú, las Normas Técnicas Peruanas (NTP) son los documentos que establecen las especificaciones de calidad de los productos, su terminología, métodos de ensayo y muestreo, entre otros; las cuales son elaboradas por Comités Técnicos de Normalización, en los cuales participan representantes de todos los sectores involucrados en la actividad a normalizar (productores, consumidores y técnicos calificados).

En este sentido, la entidad encargada de la aprobación y normalización de las NTP es el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), creado el 24 de Noviembre de 1992. Es esta entidad la que pone a disposición de los interesados las Normas Técnicas Peruanas (NTP) en su calidad de Organismo Peruano de Normalización.

Respecto a las unidades de albañilería de arcilla, se tiene la Norma Técnica Peruana NTP 331.017 – Ladrillos de arcilla usados en albañilería; la cual expone los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para su uso en albañilería estructural y no estructural, donde la apariencia externa no es un requerimiento, además de dar definiciones, clasificación y condiciones generales que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida.

Asimismo, la Norma Técnica Peruana NTP 399.613 – Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería, establece los procedimientos para el muestreo y ensayo de los ladrillos de arcilla cocida, utilizados en albañilería.

Por otro lado, se cuenta con la Norma E.070 Albañilería, la que establece principalmente los requisitos y exigencias para el análisis, el diseño, los materiales y la construcción de edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

Además, con respecto a las unidades de albañilería, cabe mencionar a las Normas Técnicas Peruanas:

- a) NTP 399.605:2013 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Método de ensayo para la determinación de resistencia en compresión de prismas de albañilería.

- b) NTP 399.621:2004 (Revisada el 2015) UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.

### 2.2.2. Normativa en el ámbito internacional

Las normas y reglamentos publicados por diferentes países relativos a las unidades de albañilería de arcilla se muestran en este acápite. Se consideraron estos países como referencias debido al gran avance que tienen en este campo, tanto a nivel de reglamentación y ensayos como de variedad de formatos en unidades de arcilla cocida.

#### 2.2.2.1. Colombia

La Norma Colombiana NTC 4205 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos; normalizada por ICONTEC, establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos como unidades de mampostería y a su vez, fija los parámetros con los que se determinan los distintos tipos de unidades y su correspondiente uso en muros de albañilería.

La utilización de las unidades en muros de albañilería debe estar acorde con los requisitos de la normativa sismoresistente colombiana NSR-10.

Adicionalmente, se tienen los siguientes documentos normativos:

- a) NTC 4051  
Productos cerámicos para construcción. Definiciones y términos.
- b) NTC 4017  
Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.
- c) NTC 3495  
Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

#### 2.2.2.2. Chile

El Instituto Nacional de Normalización (INN), es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas chilenas. La Norma Chilena Oficial NCh2123.Of1997 (Modificada en 2003) Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo, indica las disposiciones mínimas exigibles al diseño estructural de las construcciones de albañilería confinada.

Atendiendo a las propiedades físicas y mecánicas de las unidades, la norma NCh169.Of2001 Construcción – Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos, establece la clasificación de los ladrillos cerámicos de fabricación industrial en clases y

grados. Adicionalmente, las características relacionadas a su forma y acabado dan origen a una clasificación según su uso.

Existen además, los reglamentos detallados a continuación:

- a) NCh791.Of2001 Construcción – Ladrillos cerámicos – Definiciones
- b) NCh167.Of2001 Construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos
- c) NCh168.Of2001 Construcción – Ladrillos cerámicos – Verificación dimensional y geométrica

Todas estas normas establecen los requisitos para las unidades cerámicas utilizadas en la mampostería, tanto en muros exteriores o interiores, estableciendo los parámetros con los que se determinan los tipos de unidades.

### 2.2.2.3. España

España es uno de los países que ha desarrollado mayores investigaciones relacionadas a las unidades de albañilería de arcilla cocida y, a su vez, la mayoría de sus normas relacionadas a albañilería forman parte de los estándares europeos desarrollados por el Comité Europeo de Normalización (CEN), llevando adicionalmente las siglas EN en la codificación de las normas españolas.

Las normas UNE – EN 771 y UNE – EN 772 describen las disposiciones y los métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, estableciendo también las especificaciones para su correspondiente clasificación. La Norma de Construcción Sismoresistente NCSE-02 es la que proporciona los criterios a seguirse para el desarrollo de proyectos y construcción de edificaciones considerando los diversos materiales, técnicas constructivas, requisitos de cálculo y diseño de muros de albañilería.

Una característica propia e interesante de la albañilería de este país es que cada modelo, tipo y marca de unidad de albañilería, cuenta con una ficha técnica certificada y elaborada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), la que certifica que ha sido sometida a los controles indicados en el reglamento correspondiente y cumple correctamente con cada uno de ellos, para que puedan ser ofrecidos en el mercado de la construcción.

## 2.3. Traspaso y propagación del calor

### 2.3.1. Situación de la normativa

Los muros de cerramiento, además de la función estructural para la que fueron diseñados, cumplen también un papel fundamental debido a su incidencia en los niveles de temperatura y protección de la vivienda ante agentes externos como la lluvia, frío o humedad.

La necesidad de lograr viviendas con un buen aislamiento ha llevado a la construcción de paredes de espesores altos, no necesarios vistos desde el punto de vista mecánico, pero sí desde el punto de vista térmico. Sin embargo, la tendencia moderna tiende a reducir en cuanto sea posible el espesor y la cantidad de materiales usados, especialmente por razones económicas, lo cual conlleva a la instalación de equipos de calefacción en las viviendas para satisfacer la necesidad que muchas veces no es cubierta con la construcción de muros de albañilería tradicionales.

En el Decreto Supremo DS N° 009-2009-MINAM es donde se dan las primeras pautas para Medidas de Ecoeficiencia a ser aplicadas en las entidades del sector público del país. Uno de los aspectos relacionado al ámbito de construcción, es la optimización del uso de calefacción y aire acondicionado, limitando su uso solo en ambientes que reúnan las condiciones de carga térmica y hermeticidad para su aplicación.

Es en el 2014, donde se incorpora al Reglamento Nacional de Edificaciones la Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética.

Dicha norma contiene la Zonificación Bioclimática del Perú (tabla 1) y los parámetros técnicos de diseño para la construcción de edificaciones con eficiencia energética de acuerdo a los criterios modernos de sostenibilidad; convirtiéndose en la primera norma nacional que trata las condiciones de confort térmico y lumínico con eficiencia energética de las edificaciones para cada zona bioclimática definida.

ZONA	Definición Climática	Localidad Representativa	Transmitancia térmica máxima		
			Muro (Umuro)	Techo (Utecho)	Piso (Upiso)
1	Desértico costero	Pisco, Lima	2.36	2.21	2.63
2	Desértico	Nazca, Lambayeque	3.20	2.20	2.63
3	Interandino bajo	Caravelí, Marañón	2.36	2.21	2.63
4	Mesoandino	Arequipa, Cusco	2.36	2.21	2.63
5	Altoandino	Huaraz, Caylloma	1.00	0.83	3.26
6	Nevado	Puno, Azángaro	0.99	0.80	3.26
7	Ceja de Montaña	Chachapoyas, Manu	2.36	2.20	2.63
8	Subtropical húmedo	Tumbes, Oxapampa	3.60	2.20	2.63
9	Tropical húmedo	Loreto, Ucayali	3.60	2.20	2.63

Tabla 1: Valores límites máximos de transmitancia térmica. Fuente Norma EM.110

Además, la norma EM.110 brinda valores de las características de ciertas unidades de albañilería en relación a su comportamiento térmico sin embargo, no especifica las dimensiones ni geometría de la unidad. En la actualidad, no se tiene ninguna institución en Perú que posea la infraestructura y las técnicas para efectuar el análisis de transmitancia térmica en muros ni la conductividad térmica de los materiales. Esta situación de carencia técnica explica el poco trabajo de base experimental publicado en Perú en esta línea, especialmente en materiales de construcción. En la tabla 2 se muestra los valores indicados en la norma EM.110 en referencia a las características higrométricas de unidades de arcilla empleadas en muros.

Características higrométricas de los materiales de construcción		
Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. de conductividad térmica (W/(m K))
Bloque de arcilla - Ladrillo corriente	1700	0.84
Bloque de arcilla - Ladrillo tipo king kong	1000	0.47
Bloque de arcilla - Ladrillo pandereta	900	0.44

Tabla 2: Características higrométricas de los materiales de construcción. Fuente Norma EM.110

Entre los beneficios directos más resaltantes de esta norma es la mejora del ambiente térmico y lumínico, con el consecuente aumento del confort y salud de los usuarios.

### 2.3.2. Confort térmico

La sensación de confort térmico está relacionada con el estado de satisfacción o comodidad del ser humano en un determinado ambiente, en donde no siente molestias sensoriales. La norma ISO 7730 la describe como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Por lo tanto, el confort térmico es una condición subjetiva que dependerá de cada persona, ya que el metabolismo del cuerpo humano responde en forma diferente ante las condiciones externas de su entorno.

El confort térmico es el resultado de una serie de variables ambientales, que actúan individualmente o en conjunto, que definen las características climáticas del medio y son:

- La temperatura del aire
- La temperatura de radiación
- La humedad relativa del aire
- La velocidad del aire

Además de las variables mencionadas, existen también otras relacionadas a las condiciones que se presenten en el interior del ambiente, como por ejemplo la resistencia y permeabilidad de la ropa que vista la persona, su estado de salud o ánimo, la presencia de fuentes lumínicas o sonoras, etc.

Sin embargo, a pesar que el confort térmico está en la medida de la subjetividad de la persona, se puede brindar situaciones hipotéticas con ciertas variables ambientales para mejorar el confort térmico.

### 2.3.3. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico reúne al conjunto de materiales y técnicas constructivas aplicadas a un espacio para reducir la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios exteriores.

Son denominados aislantes térmicos a aquellos materiales que son caracterizados por su baja conductividad térmica o alta resistencia térmica, puesto que establecerán una mayor barrera al paso del calor entre dos ambientes que naturalmente tendrían a igualarse en temperatura.

Un adecuado aislamiento térmico referido a minimizar las pérdidas de calor en invierno y las ganancias en verano dentro de una edificación, considerando los materiales más óptimos para este fin, es de suma importancia, ya que:

- Permite aumentar la temperatura superficial externa de los muros, reduciendo los riesgos de condensación superficial y/o formación de hongos en los cerramientos.
- Permite disminuir el consumo de combustible y energía para la calefacción y aire acondicionado, que se refleja en un ahorro de costos en energía consumida.
- Permite disminuir los daños a la estructura portante del muro, en función a los ciclos de contracción – dilatación que estará sometida por acción de los equipos de climatización.
- Disminuye la contaminación ambiental a nivel domiciliario y global.

Para obtener un mejor aislamiento térmico en una edificación puede considerarse aumentar el espesor del muro, sin embargo esta solución se vuelve rápidamente antieconómica, ya que demanda una mayor cantidad de material y menor espacio libre en el interior, sin causar grandes mejoras a no ser que el incremento del espesor del muro sea mucho mayor. Otra solución es colocar una capa de material aislante en el interior del muro o aquella que implique colocar materiales diseñados estructuralmente y térmicamente.

### 2.3.4. Envoltente térmica

Son el conjunto de elementos constructivos del edificio que lo separan del ambiente exterior o interior (aire, terreno u otro edificio). La norma EM.110 los clasifica en:

- Tipo 1: envoltentes en contacto con el ambiente exterior.
- Tipo 2: envoltentes de separación con otros edificios o ambientes no habitables.
- Tipo 3: envoltentes de techo o cubierta.
- Tipo 4: envoltentes de separación con el terreno (de piso).

### 2.3.5. Puente térmico

La norma EM.110 denomina puente térmico a la zona de unión entre elementos constructivos o materiales de diferentes características, que produce una discontinuidad en la capacidad aislante de la envolvente de una edificación.

Los puentes térmicos comúnmente pueden originarse por:

- Inclusión de materiales o elementos constructivos en la envolvente del edificio con diferente conductividad térmica.
- Una variación en el espesor del revestimiento.
- Una diferencia entre las áreas internas y externas, como intersección de paredes o techos.

La presencia de puentes térmicos trae como consecuencia directa la pérdida del calor interior, lo que conlleva a una reducción de la resistencia térmica de la envolvente y aumenta la posibilidad de formación de condensaciones superficiales.

### 2.3.6. Calor

La norma EM.110 lo define como una sensación, el cual se genera por la combustión, por la luz solar, por el paso de la corriente eléctrica, por la compresión brusca de un gas, por ciertas reacciones químicas y en general por cualquier cambio de energía producido por el movimiento de las moléculas en su interior. Cuanto mayor es el movimiento de las moléculas y más violentos son los choques entre ellas, mayor es la energía cinética de las moléculas y en consecuencia el calor desprendido.

Es importante tener en cuenta que los cuerpos no tienen calor, sino energía interna ya que las partículas de los cuerpos no están en reposo sino que se encuentran en constante agitación. Por tanto, el término calor debe entenderse como una transferencia de calor de un sistema o cuerpo hacia otro que se encuentre a diferente temperatura y se producirá en dirección de mayor a menor hasta que se alcance el equilibrio térmico.

A menudo suele confundirse el concepto de calor con el de temperatura, asumiendo que significan lo mismo. Sin embargo, esto no es así. El calor se refiere a una forma de energía que se transmite según el movimiento molecular de un cuerpo y que puede realizar trabajo, mientras que la temperatura es la medida de dicha energía almacenada.

### 2.3.7. Temperatura

La temperatura es la medida del nivel energético almacenado por un cuerpo. Está relacionada con la energía interna de un cuerpo conocida como energía cinética asociada a los movimientos de las partículas del sistema. A medida que es mayor esta energía, el sistema se encuentra más caliente, es decir su temperatura es mayor.

La temperatura se mide con termómetro, el cual es calibrado según la escala de medición de temperatura. La escala Kelvin corresponde a una escala de temperaturas absolutas que asocia el valor de cero kelvin (0 K) al cero absoluto, pero existen también otras escalas relativas, como la escala Celsius o Fahrenheit. La escala Celsius es la más comúnmente utilizada, que define arbitrariamente el 0°C como la temperatura en equilibrio en su estado sólido y líquido y considera como 100°C la temperatura del agua en ebullición a una presión de un bar.

### 2.3.8. Métodos de transferencia de calor

Para que ocurra la transferencia de energía entre dos sistemas, debe existir un gradiente térmico entre ellos. Este gradiente de temperatura genera inevitablemente un proceso llamado transferencia de calor, que va desde el elemento con mayor temperatura al elemento de menor temperatura hasta alcanzar un equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualen las temperaturas.

La transmisión de calor se produce de tres formas distintas: conducción, convección y radiación.

En los materiales de construcción, la transferencia de calor es considerada como conducción, sin embargo es prácticamente imposible encontrar un material que sea totalmente homogéneo y por tanto el calor se transmite también en forma de convección y radiación. En otras palabras, como todos los materiales son porosos, unos más que otros, en los poros que se encuentran cerrados se produce la conducción, y a su vez, en los poros que están llenos de aire ocurre la transferencia de calor por radiación y convección.

#### 2.3.8.1. Conducción

Este proceso consiste en la transferencia de calor que se desplaza desde la región de mayor temperatura a la de menor temperatura en un cuerpo, sin producirse una transferencia de materia entre ellos.

En este método, la energía se traslada por contacto molecular directo, no generándose desplazamientos moleculares considerables durante este proceso. El principio que rige la conducción puede explicarse con un ejemplo bastante sencillo: si se calienta el extremo de una varilla metálica utilizando una fuente de calor, las moléculas que componen la varilla y que están en contacto directo con la fuente experimentarán un aumento en su velocidad de agitación, representado con un aumento de temperatura en esa región, y como consecuencia, colisionarán con las moléculas adyacentes propagándose la agitación, produciéndose una transferencia de calor a través del material con el consiguiente aumento de la temperatura de la varilla. En efecto, mientras mayor densidad posea el material por donde fluya el calor, mayor velocidad será la transmisión a través de este.

La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir calor es la conductividad térmica, la cual depende de la estructura microscópica del elemento.

### 2.3.8.2. Convección

Este modo de transmisión de calor se caracteriza porque se produce sólo entre líquidos o gases, donde las moléculas son libres de moverse en el medio.

La convección transfiere el calor por medio del movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Si se calienta un líquido o un gas, la energía transferida incrementa la temperatura y la energía interna de las partículas del fluido y, por ende, las partículas del fluido con mayor temperatura se moverán hacia una región del fluido con temperatura más baja, donde se mezclarán y transferirán una parte de su energía a otras partículas del mismo fluido.

De acuerdo a la forma de inducir el movimiento de las partículas dentro del fluido, la transmisión de calor por convección puede ser libre o forzada.

- La convección libre o natural es aquella que se produce a causa de la variación de las densidades. Las diferencias de temperaturas provocan diferentes densidades dentro del fluido, que originan el movimiento de las partículas que tiende a mezclar las zonas calientes y frías.
- La convección forzada se genera cuando el movimiento de las partículas del fluido es provocado por algún agente externo, como la acción de las corrientes de aire o el viento.

Por tanto, la eficiencia de la transmisión de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y de las características del fluido, ya que la convección en sí misma, es el transporte del calor por medio del movimiento del fluido.

### 2.3.8.3. Radiación

En este proceso la transmisión de energía se produce desde un cuerpo de mayor temperatura que actúa como fuente hacia otro de temperatura más baja, donde la energía es transportada por ondas electromagnéticas, generalmente rayos infrarrojos, que se propagan a través del espacio.

A diferencia de la conducción y la convección, que necesitan de un medio material para propagarse, la radiación es independiente de la materia para su propagación, de hecho, es más efectiva en el vacío.

El término radiación, se aplica a todos los fenómenos referidos a ondas electromagnéticas. Cuando se refiere exclusivamente a los fenómenos de transferencia de calor originados por la temperatura, en donde el transporte de energía se da a través del espacio, se conoce como calor radiante, que es la forma de calentamiento más confortable y saludable a nuestra disposición.

### 2.3.9. Conceptos de transmisión térmica

#### 2.3.9.1. Transmitancia térmica

La norma EM.110 la define como el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los ambientes situados a cada lado del elemento que se considera. Se expresa en  $W/(m^2 K)$ .

En otras palabras, la transmitancia térmica representa la cantidad de calor que atraviesa a un elemento por unidad de área y en un tiempo determinado, donde ocurre una diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Por lo tanto, estará ligado a la propiedad que posean los materiales que componen el elemento para dejar pasar calor a través de ellos y por ende, cuanto menor sea el valor de la transmitancia térmica, menor es la pérdida de calor a través del elemento, y en consecuencia mejor las capacidades aislantes del elemento.

Se determina la transmitancia térmica de un elemento experimentalmente o bien por cálculo, como se especifica en la Norma EM.110. La transmitancia térmica, para un material simple y homogéneo, se puede determinar con la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{\frac{e1}{k1} + \frac{e2}{k2} + \dots + \frac{en}{kn} + Rse + Rsi}$$

Donde:

- U = Transmitancia térmica del elemento ( $W/(m^2 K)$ ).
- Rt = Resistencia térmica total ( $(m^2K)/W$ ).
- en = Espesor del material componente del muro (m).
- kn = Coeficiente de conductividad térmica del material ( $W/(m K)$ ).
- Rse, Rsi = Resistencia térmica superficial externa e interna ( $(m^2 K)/W$ ).

#### 2.3.9.2. Conductividad térmica

Según la norma EM.110, es una propiedad característica de cada material para dejar pasar el calor a su través y su valor depende principalmente de la temperatura y de factores como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro y tamaño de fibras o poros internos y del tipo de gas que encierre el material.

$$k = \frac{Q}{\Delta T}$$

Donde:

- Q = Flujo de calor por unidad de tiempo y unidad de área.
- $\Delta T$  = Gradiente de temperatura

El coeficiente de conductividad térmica (k) es la cantidad de calor que atraviesa por unidad de tiempo, una unidad de superficie (área) de una muestra de material de caras

planas, paralelas y de espesor unitario, cuando se establece entre las caras una diferencia de temperatura de un grado. Se expresa en  $W/(m K)$ .

Cuanto mayor sea la conductividad térmica de un material, el material será mejor conductor del calor. En caso contrario, cuando menor sea la conductividad térmica, el material será más aislante.

### 2.3.9.3. Coeficiente superficial de transmisión térmica

De acuerdo a la norma EM.110, es la transmisión térmica por unidad de área hacia o desde una superficie en contacto con el aire u otro fluido debido a la convección, conducción y radiación, dividido por la diferencia de temperatura entre la superficie del material y la temperatura seca del fluido. Se expresa en  $W/(m^2K)$ .

El valor del coeficiente depende de muchos factores, tal como el movimiento del aire, las rugosidades de la superficie y la temperatura del ambiente. Los subíndices  $h_e$  o  $h_i$ , indican la cara exterior o interior del cerramiento respectivamente, o también la cara de mayor o menor temperatura.

### 2.3.9.4. Resistencia térmica

Según la definición indicada en la norma EM.110, es la capacidad de un material para resistir el paso de flujo de calor, es decir, es la oposición al paso del calor que presenta una capa de cierto espesor "e" de un material de construcción, bajo condiciones unitarias de superficie y de diferencia de temperaturas. Es inversamente proporcional a la conductividad térmica y aumenta con el espesor del material. Se expresa en  $(m^2K)/W$ .

- Resistencia térmica superficial ( $R_{se}$  y  $R_{si}$ ): Es la inversa del coeficiente superficial de transmisión térmica  $h$  y su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación externa o interna de la superficie. Se expresa en  $(m^2K)/W$ , y se calcula como sigue:

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad , \quad R_{si} = \frac{1}{h_i}$$

La norma EM.110 establece los siguientes valores de resistencias térmicas superficiales en muros:

$$R_{se} = 0.11 (m^2K)/W \quad , \quad R_{si} = 0.06 (m^2K)/W$$

### 2.3.9.5. Transmitancia térmica final para cada tipo de envolvente

Es la media ponderada de los coeficientes de transmitancia térmica de los cerramientos que envuelven a un edificio (muro, piso y techo) y representa la transmitancia térmica global por cada envolvente del edificio, valor que debe ser inferior a lo establecido en la norma según la zona bioclimática en el que se encuentre.

$$U_{total} = \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + \dots + S_n \times U_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Se expresa en  $W/(m^2K)$  y puede calcularse, en el caso de un muro sencillo de una vivienda, de la siguiente forma:

$$U_{total} = \frac{S_{muro} \times U_{muro} + S_{ventana} \times U_{ventana} + S_{puerta} \times U_{puerta}}{S_{muro} + S_{ventana} + S_{puerta}}$$

Donde:

- $U_{total}$  = Transmitancia térmica total de la envolvente ( $W/(m^2K)$ ).
- $S_n$  = Área del elemento ( $m^2$ ).
- $U_n$  = Transmitancia térmica del elemento ( $W/(m^2K)$ ).



## CAPÍTULO III: ATRIBUTOS EXIGIDOS Y CONCEPTOS DE DISEÑO EN UNIDADES CERÁMICAS

Este capítulo reúne los principales atributos y exigencias requeridas por parte de los consumidores, de la normativa peruana y de los productores en relación a las unidades de albañilería cerámica. La información requerida para realizar los ensayos de las unidades de albañilería de arcilla cocida, así como de la albañilería, están descritas en las NTP y en la norma NTE E.070 Albañilería.

Además, se describe los principales conceptos de diseño para la fabricación de bloques de termoarcilla, considerando las restricciones y aspectos geométricos para mejorar el comportamiento térmico de las unidades cerámicas.

### 3.1. Atributos exigidos

#### 3.1.1. Exigencias de los consumidores

Para los consumidores, la primera impresión que se tiene del producto es fundamental, por lo tanto la mayoría de fabricantes, se preocupa del acabado final de las unidades. El color rojizo de las unidades de albañilería cerámica es una de las exigencias que la mayoría de consumidores toma en cuenta, no siendo siempre un indicador de la calidad del producto desde el punto de vista mecánico y estructural.

Otro aspecto importante para los consumidores es el costo que posee el producto, ya que preferirán aquellos que sean más económicos y que proporcionen características similares a otro más caro. Sin embargo, las unidades más económicas comúnmente son las que en el ámbito de producción de unidades cerámicas, tienen menos arcilla para las mismas dimensiones, en donde los alveolos de mayor tamaño son los que reducen el peso de la unidad, disminuyendo su costo y dando como resultado unidades que no necesariamente cumplen con los requisitos exigidos por la norma peruana.

El aspecto térmico, en este sentido, ha sido dejado de lado puesto que no se tiene unidades en el mercado nacional elaboradas para este fin, siendo una característica de la unidad aún no exigida por el consumidor.

### 3.1.2. Exigencias de la normativa peruana

Las características de los ladrillos cerámicos están regulados por diversas normas peruanas, las cuales establecen los requisitos y ensayos a realizarse en los ladrillos cerámicos.

En la NTP 331.017 - Ladrillos de arcilla usados en albañilería, se clasifica a las unidades de arcilla cocida en cinco tipos, las cuales varían por su resistencia y durabilidad, como se muestra en la siguiente tabla:

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Clase I	Resistencia y durabilidad muy bajas, aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio y de exigencias mínimas.
Clase II	Resistencia y durabilidad bajas, aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.
Clase III	Resistencia y durabilidad medias, aptos para construcciones de albañilería de uso general.
Clase IV	Resistencia y durabilidad altas, aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
Clase V	Resistencia y durabilidad muy altas, aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

Tabla 3: Clasificación de la albañilería estructural. Fuente NTP 331.017

A su vez, esta norma establece recomendaciones por condiciones de intemperismo en función a las condiciones de uso en donde se empleará el tipo de ladrillo. Como se detalla en la tabla 4, se utilizará el tipo de ladrillo de acuerdo a las condiciones del terreno, clima y al grado de intemperismo al que va estar expuesto.

CONDICIONES DE USO	CONDICIONES DE INTEMPERISMO		
	Bajo	Medio	Alto
Para superficies que no están en contacto directo con la lluvia intensa, terreno o agua	Cualquier tipo	Tipos II, III, IV y V	Tipos IV y V
Para superficies en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua.	Tipos III, IV y V	Tipos IV y V	Ningún tipo

Tabla 4: Condiciones de uso de la albañilería de acuerdo a las condiciones de intemperismo.

Fuente NTP 331.017

En la Norma E.070 Albañilería, se indican los procedimientos para los ensayos correspondientes a los requisitos obligatorios para los ladrillos.

Para clasificar al ladrillo con fines estructurales, este deberá cumplir tres requisitos obligatorios indicados en la Norma E.070 Albañilería, que son: variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión; los cuales presentan valores mínimos y máximos admisibles establecidos en la norma. Para determinar estas propiedades, las unidades de arcilla se ensayan de acuerdo a:

- Variación dimensional.- Para su determinación, se seguirá el procedimiento indicado en la Norma NTP 399.613.
- Alabeo.- Se determinará la concavidad o convexidad de la unidad de albañilería, mediante el procedimiento indicado en la Norma NTP 399.613.
- Resistencia a la compresión.- La determinación de la resistencia a compresión de las unidades se efectuará de acuerdo a lo indicado en la Norma NTP 399.613. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ( $f_b$ ) se obtendrá restando una desviación estándar al promedio de la muestra.

La tabla 5 muestra los valores permitidos para los requisitos obligatorios de los tipos de unidades de albañilería para fines estructurales.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Tabla 5: Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales. Fuente E.070

Asimismo, el uso de las unidades de albañilería está condicionado a la zona sísmica en donde se ubique la edificación, tal como se indica en la tabla 6. Las zonas sísmicas son las indicadas en la Norma NTE E.030 Diseño Sismoresistente.

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas de grout	Sí Celdas parcialmente rellenas de grout	Sí Celdas parcialmente rellenas de grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta dos pisos

Tabla 6: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales. Fuente E.070

Sin embargo, ambas normas se refieren al ladrillo de arcilla, no existiendo así una norma que haga referencia a los bloques de arcilla como unidad de albañilería. En esta condición, se tomará en cuenta los procedimientos y métodos de ensayo estipulados en las Normas Técnicas Peruanas NTP existentes para ser aplicadas a la unidad de albañilería a desarrollar en esta investigación.

Para fines de clasificación de la unidad de albañilería, se considerarán los valores establecidos en la Norma E.070 de acuerdo a la variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión de la misma.

### 3.2. Conceptos de diseño en unidades cerámicas

#### 3.2.1. Introducción

Los valores exigidos en la Norma EM.110 rigen las características térmicas de las envolventes de las edificaciones en Perú, y es evidente que deben realizarse cambios a los actuales sistemas constructivos en albañilería y otros materiales, a fin de disminuir las transmitancias térmicas de muros y aumentar el confort térmico.

En relación a las diferentes soluciones nacionales en muros de albañilería, se observa que, en cuanto a calidad térmica, aún es precario. Esta precariedad, sumada a los diferentes niveles de exigencias térmicas según las zonas bioclimáticas, muestra la necesidad del desarrollo de unidades que permitan un mejoramiento térmico.

Las características higrométricas de las unidades de albañilería, desprendidas de la Norma EM.110, indican que la conductividad térmica de los diferentes ladrillos de arcilla industriales en el Perú utilizados en muros varía entre 0.44 y 0.47 W/[m K]. Sin embargo, dichos coeficientes no especifican las dimensiones de la unidad, ni las morfologías particulares de cada diseño de ladrillo (el porcentaje de perforaciones, el tamaño de las cavidades y su distribución dentro del cuerpo del ladrillo), y menos aún se refieren a las características termoresistentes de las arcillas usadas para su fabricación.

Del análisis morfológico y dimensional de las unidades nacionales para muros de albañilería, se puede observar que es bastante característico y poco variado (Tabla 7). Se tienen prácticamente dimensiones iguales en cuanto al ladrillo King Kong, de 14 cm de ancho, 24 cm de largo y alturas variables entre 8 y 10 cm. Dichas dimensiones y geometrías son determinadas principalmente por factores estructurales y por factores económicos relativos al uso del material arcilloso y las condiciones para la producción de unidades referentes al proceso de extrusión, secado y cocción y, también, por otros relativos a la modulación arquitectónica de los muros.

MARCA	TIPO DE LADRILLO	DIMENSIONES (cm)	
Ladrillera El Diamante	King Kong Fortaleza	10x14x24	
	King Kong Infes	9x13x24	
	King Kong Hércules 10	10x14x24	
Ladrillera Oro Rojo	King Kong Forte	9x14x24	
Ladrillera Choque	King Kong	8x14x24	
	King Kong	9x14x24	
	King Kong	10x14x24	
Ladrillera Ouro Vermelho Perú	King Kong 9	9x14x24	
	King Kong 10	10x14x24	
	King Kong Infes	9x13x24	
Ladrillera Lark	King Kong 18 Huecos	9x12.5x23	
	King Kong 30%	9x13x24	
Ladrillera Pirámide	King Kong 18	9x12.5x23	
	King Kong 30%	9x13x24	
	Kinkoncito	9x12x21	

Tabla 7: Productos nacionales de arcilla para muros portantes.

Puede observarse en prácticamente todas las unidades para uso portante de muros que las perforaciones son de geometría circular distribuidas intercaladamente o no, en el área de la unidad. Estas distribuciones actúan como puentes térmicos, ya que el trayecto del flujo térmico por conducción es casi equivalente al espesor del ladrillo. Además, mientras el tamaño de los alveolos sea mayor, favorece al movimiento del aire atrapado y el traslado del flujo térmico por convección. Ambos aspectos explican en parte el bajo poder aislante de las albañilerías de ladrillos locales en relación a ladrillos internacionales, como se verá más adelante.

De lo anterior entonces, puede concluirse que el comportamiento térmico obedece especialmente a la morfología alveolar y estructura interna, determinada por la configuración geométrica de las perforaciones, el tamaño, su orientación y distribución en la unidad, las cuales en el Perú están destinadas únicamente al tema estructural, mientras que el aspecto térmico pareciera ajeno a todo diseño morfológico de las unidades actuales en el país.

A nivel internacional, en cambio, existe una gran variedad de unidades termoresistentes debido a la necesidad del desarrollo de una mayor protección térmica en las edificaciones. En la mayoría de estos diseños se busca alcanzar estándares de conductividad térmica en el rango de 0.2 a 0.35 W/[m K], y las características más recurrentes de estos diseños son los grandes espesores de entre 20 a 45 cm y el gran número de filas de perforaciones. Otra característica común es el reducido tamaño de las perforaciones y eventualmente el uso de masa arcillosa con aditivos incorporados.



Figura 6: Bloques y ladrillos internacionales. Fuente Cerámica Cottosene (Italia)

Es por ello que la presente tesis busca innovar el diseño morfológico y estructura interna del ladrillo interviniendo convenientemente en el flujo térmico y en la composición de la materia prima a partir de los conceptos de transmisión de calor, aspectos fundamentales para la determinación de criterios de diseño de unidades termoresistentes.

### 3.2.2. Aspectos térmicos involucrados en la determinación de los conceptos de diseño

#### 3.2.2.1. Transferencia de calor a través de la unidad por conducción

Al analizar la unidad de arcilla, se observa que está compuesta por masa cerámica y aire distribuidos en diferentes proporciones según la morfología propia de la unidad. Sabiendo que el único método de transferencia de calor en los sólidos es por conducción y que la conductividad de cualquier material sólido es mucho mayor que la del aire quieto, puede establecerse que la masa cerámica será el principal conductor de calor a través de la unidad.

Las morfologías típicas de los ladrillos peruanos representadas en la figura 7, muestran la distribución de las perforaciones la cual genera los puentes térmicos directos y reducen el trayecto del flujo térmico por conducción a prácticamente el espesor del ladrillo, formando trayectorias de flujo térmico mínimas.

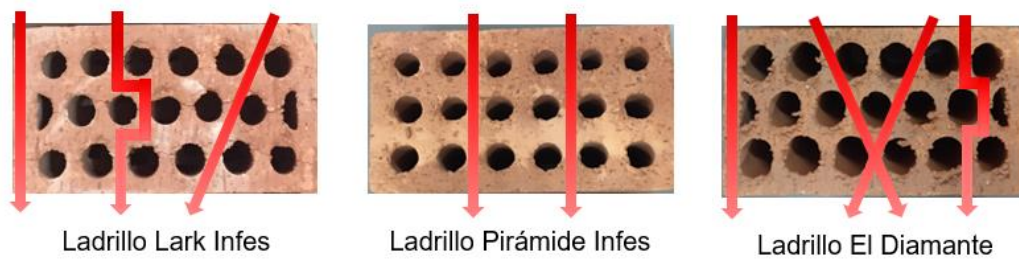


Figura 7: Recorrido del flujo de calor a través de ladrillos de morfología típica nacional.

Esta particular característica de trayectorias de flujo térmico mínimas influye fuertemente en el rendimiento térmico del ladrillo a nivel nacional, llevando a desarrollar una unidad basada en dos principios fundamentales: maximizar la trayectoria del flujo térmico y minimizar los puentes térmicos.

### 3.2.2.2. Transferencia de calor a través de la unidad por convección

La convección transfiere el calor por medio del movimiento del aire generado por el incremento de la temperatura. Las diferencias de temperaturas provocan diferentes densidades, el aire más caliente disminuye su densidad y tiende a ascender, mientras que el aire más frío y más denso descenderá, originando el movimiento denominado convección natural.

Debido que la unidad cerámica es un cuerpo compuesto por proporciones diferentes de masa cerámica y de aire, se producirá también la transferencia de calor por convección en la unidad. El aire atrapado en los alvéolos se moverá según la diferencia de temperatura existente entre las caras opuestas de las perforaciones.

Al calentar una de las caras externas de la unidad, de manera que aumente su temperatura, el movimiento convectivo del aire atrapado en los alvéolos hará que se transfiera el calor de la cara más caliente a la cara opuesta más fría.

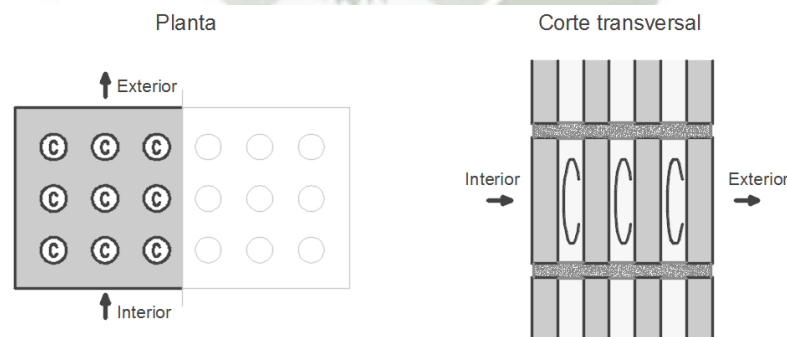


Figura 8: Movimiento convectivo del aire al interior de los alveolos.

A medida que el alvéolo tenga una mayor dimensión en el sentido del flujo, la diferencia de temperatura entre las caras opuestas del alvéolo será mayor, y por ende el movimiento convectivo será más significativo facilitando la transferencia de calor por convección.

### 3.2.2.3. Transferencia de calor a través de la unidad por radiación

A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita que las sustancias tengan que estar en contacto para transferir calor, sino que pueden estar separadas por un vacío. En el caso de la unidad de albañilería cerámica, el vacío está definido por los alvéolos.

Cuando la temperatura en la superficie del elemento es superior a cero, este emite radiación y también es capaz de absorberla. Generalmente las superficies rugosas y mates absorben más calor que las superficies pulidas y brillantes, siendo estas últimas las que reflejan más energía radiante.

Ya que el ladrillo está compuesto solamente por cerámica en su fracción sólida, el cual es un material de superficies opacas y de cierta rugosidad, es un buen absorbente de calor. En la unidad, entre las superficies de los alveolos se dará la transferencia por radiación desde la pared más caliente a la más fría, en donde una parte es reflejada y la otra absorbida, hasta lograr el equilibrio en ambas paredes del alvéolo.

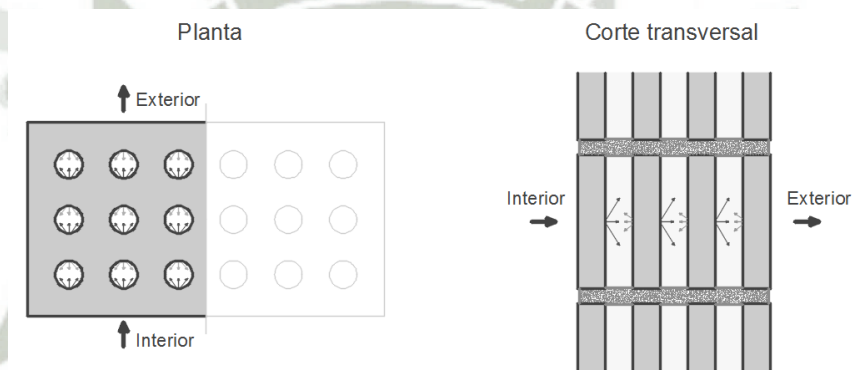


Figura 9: Esquema de traspaso de calor dentro de la cavidad alveolar por radiación.

La capacidad de la unidad cerámica de emitir y absorber energía radiante depende principalmente de la naturaleza del material, en este caso de la arcilla; y también, al igual que el intercambio de calor por convección, depende de la diferencia de temperatura entre las paredes de los alvéolos y, por tanto mientras menor sea la abertura de aire entre las paredes, menor será la diferencia de temperatura y por consiguiente menor será la radiación.

En la presente tesis, no se indagará en modificar las características termoresistentes de la arcilla, más si en la materia prima a partir del incremento de la porosidad mediante la adición de material granular. Además, se enfocará en la innovación morfológica de la unidad con el fin de reducir la trasmisión de calor.

### 3.2.3. Aspectos físicos y morfológicos involucrados en la determinación de los conceptos de diseño

Se tienen 3 aspectos determinantes a tomar en cuenta en el diseño de la unidad sin comprometer su comportamiento mecánico, los cuales son:

#### 3.2.3.1. Requisitos exigidos por la norma E.070 Albañilería

Como ya se mencionó en el acápite 3.1.2., la Norma Peruana, para efectos de diseño estructural, clasifica a las unidades de albañilería según sus propiedades geométricas (configuración de los alveolos, variación dimensional y alabeo) y mecánicas (resistencia a la compresión), condicionando el uso de las unidades según su tipo y zona sísmica en donde se empleará.

Además de los anteriores requisitos, para la aceptación de la unidad, la norma indica que:

- La absorción de las unidades de arcilla no será mayor que el 22%.
- La unidad no tendrá materias extrañas en su superficie ni en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- La unidad deberá estar bien cocida, presentando un color uniforme y produciendo un sonido metálico al ser golpeada con un martillo u objeto similar.
- La unidad no tendrá fracturas, grietas o manchas blanquecinas que pudiesen degradar la resistencia y durabilidad de las mismas.

Cabe resaltar, que la norma peruana no establece ninguna exigencia respecto al diseño y configuración geométrica de las unidades, como lo son el espesor de las paredes, forma y distribución de los alveolos o tamaños permitidos de las unidades.

Además, la clasificación de las unidades por tipo y clase solo hace referencia al ladrillo y al bloque de concreto como unidad de albañilería, no mencionando otros formatos, como es el caso de la unidad a desarrollar en esta investigación.

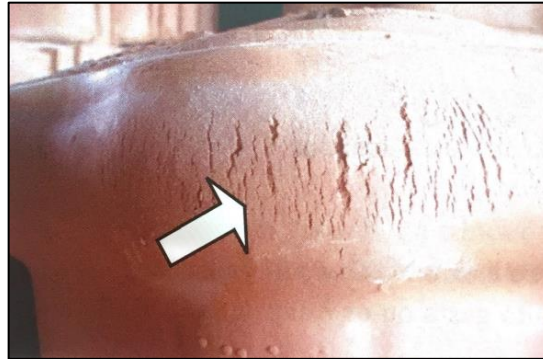
#### 3.2.3.2. Requisitos relacionados al proceso de fabricación

Estas consideraciones no están reguladas por la norma, sin embargo, son imprescindibles para reducir los problemas propios del diseño manifestados en esfuerzos laterales que suceden en las distintas fases del proceso de fabricación: extrusión, secado y cocción, las cuales se explican a continuación:

- En la fase de extrusión (unidad en crudo)

El primer aspecto a considerar en esta etapa, es la humedad de la materia prima durante la extrusión. Cuando la masa cerámica recién extruida tiene un exceso de humedad en

su composición, las unidades serán fácilmente deformables. A causa de tan sólo el propio peso de la masa arcillosa pueden originarse deformaciones superficiales o en el interior de los tabiquillos, y más aún, si el mecanismo de corte no es el adecuado. Se considera una humedad óptima entre el 20 a 25%.

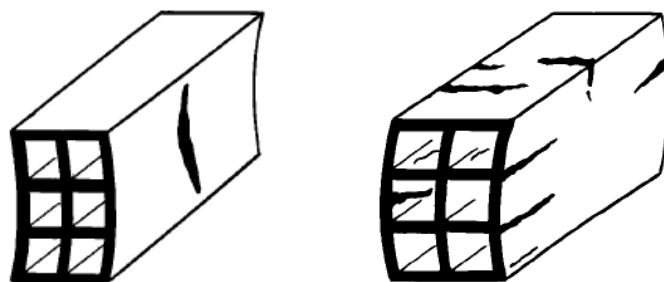


*Figura 10: Fisuras generadas por exceso de humedad en la masa. Fuente Alves de Oliveira*

El segundo aspecto, está relacionado la geometría del molde de la unidad. La distribución interna de la boquilla, que en negativo da exactamente las dimensiones transversales de la unidad, debe tener las dimensiones ligeramente aumentadas respecto al producto cocido, teniendo en cuenta la contracción en secado y cocción.

Si bien es cierto que durante el secado los productos sufren una contracción global, también se presentan diferencias de contracción entre varios puntos en la misma pieza, debido a que el secado será más rápido en las zonas donde el aire circula más (caras externas) y en las paredes con menor espesor. Para evitar que el secado diferenciado produzca tensiones interiores desequilibradas, debe mantenerse una conveniente geometría simétrica entre las paredes de la pieza.

El tercer aspecto se refiere a la regulación del molde, principio fundamental para producir un determinado producto. Debe regularse el molde a fin de mantener una uniformidad en la velocidad de salida del flujo tanto en el centro como en la periferia de la pieza, que es la zona donde suele darse el mayor avance. Para ello, se tiende a reducir la velocidad colocando frenos en los puntos que se requiera, para aumentar la superficie de roce o reducir la sección transversal de flujo y la conicidad.



*Figura 11: Fisuras generadas por exceso de flujo arcilloso en la periferia (izquierda) y en el centro de la pieza (derecha). Fuente Alves de Oliveira*

Todas estas acciones, si no se prevén, provocan deformaciones o tensiones internas que se manifiestan en problemas dimensionales y grietas en las etapas posteriores de secado y cocción.

- En la fase de secado y cocción

Durante la fase de secado, la unidad húmeda debe encastillarse y apilarse una sobre otra, dispuestas de costado en sentido del flujo de aire, para que el aire fluya fácilmente por entre sus alvéolos y se mantenga un secado uniforme. De igual manera, en la etapa de cocción, las unidades deberán apilarse de canto para permitir el paso del calor a través de ellos.

El peso propio de las unidades se descarga directamente en la unidad inferior, generando cargas laterales, que si resultan excesivas y acompañadas de una mala configuración geométrica y composición de la masa arcillosa, provocara el agrietamiento de las piezas.

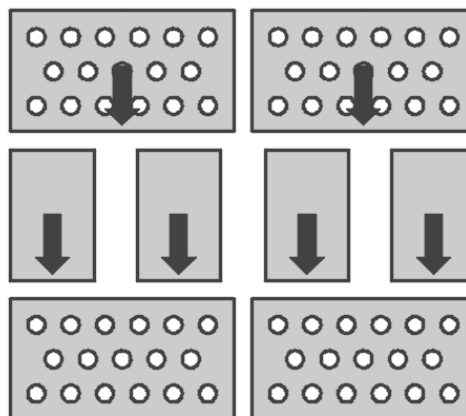


Figura 12: Encastillado de ladrillos de costado.

Además, si en los procesos anteriores al secado y cocción no se controló la calidad de las unidades, se presentarán fisuras y deformaciones en el ladrillo, aumentando las probabilidades de colapso en el interior del secadero y del horno con una consecuente mala calidad de la unidad.

### 3.2.3.3. Requisitos relacionados a la geometría propia de la unidad

Estas exigencias son importantes y deben considerarse en el diseño de la unidad ya que si no se toman en cuenta, pueden generarse fisuras y problemas durante el proceso de extrusión, secado o cocción de la unidad, y por ende una mala calidad de la pieza.

Dentro de los principales requisitos a tener en cuenta están:

- En el diseño de la unidad, debe tenerse un especial cuidado en el espesor de los tabiques o paredes que se diseñan. La geometría interna de las unidades debe tener la suficiente armonía para que, durante el proceso de extrusión, se evite deformaciones internas en la unidad por el mal diseño de la boquilla, puesto

que se generaría mayor salida de masa en ciertos tabiques en comparación a otros de menor espesor y, a su vez para facilitar el secado y cocción uniforme de la masa, reduciendo la posibilidad de aparición de fisuras en la unidad.

- Los alvéolos deben estar distribuidos de manera tal que las paredes interiores mantengan el mismo espesor y que las paredes exteriores tengan un mayor espesor respecto a las primeras. Por ello se recomienda emplear espesores inferiores a 15 mm, en donde las paredes externas tienen 2 a 3 mm adicionales de espesor en comparación con las paredes internas de la unidad.

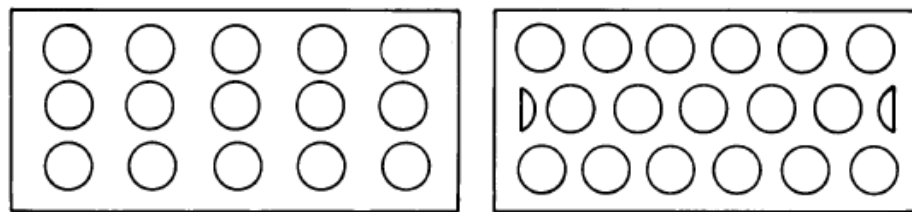


Figura 13: Distribución errada de los alveolos (izquierda) y distribución correcta (derecha).

- Los alveolos que se generen en el diseño tendrán una dimensión mayor a 1 cm<sup>2</sup>, ya que si es un alveolo muy pequeño o angosto, la masa al pasar por el taco de la boquilla, puede tender a cerrarse una vez que pase por esta, no dejando ningún alveolo.
- Debe tomarse en cuenta la inclusión de pequeños agujeros centrales si la geometría lo necesitase, para equilibrar las tensiones internas del ladrillo crudo durante la extrusión y el proceso de secado, etapas en donde se genera mayor probabilidad de fisuras y deformaciones en la masa de la unidad.
- La altura de la unidad depende exclusivamente del corte transversal realizado por los alambres de la cortadora, no interviniendo en el diseño geométrico de la sección transversal de la unidad.
- Deben evitarse perforaciones en el sentido longitudinal de la unidad, tabiques largos y cargas excéntricas sobre las perforaciones oblongas, ya que estas pueden generar deformaciones cuando la unidad esta cruda y en el proceso de secado.

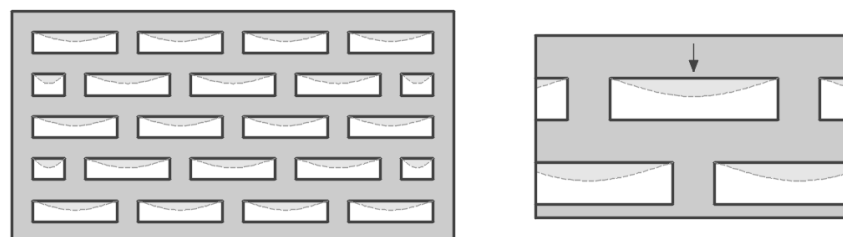


Figura 14: Deformación por cargas laterales y detalle de carga puntual en zona débil.

Sin embargo, este último ítem es lo contrario a lo que se plantea en el diseño termoresistente, que indica que deben evitarse los puentes térmicos justamente incluyendo cavidades lo más oblongas posibles. Un adecuado diseño permitirá incluir perforaciones oblongas sin condicionar la buena calidad de las unidades.

### 3.3. Principios de diseño

A partir del análisis morfológico y de los aspectos térmicos a considerar en el diseño de unidades, pueden determinarse los siguientes principios:

#### 3.3.1. Principios de diseño según los aspectos térmicos

##### 3.3.1.1. Principios de diseño a partir de los conceptos de conducción

Son determinantes los siguientes principios de diseño:

- Maximizar la trayectoria térmica, diseñando los tabiques internos con una geometría tal que el flujo de calor por conducción transmitido a través de la masa cerámica, tenga un recorrido notoriamente mayor que al propio espesor de la unidad, como se muestra en la figura 15.

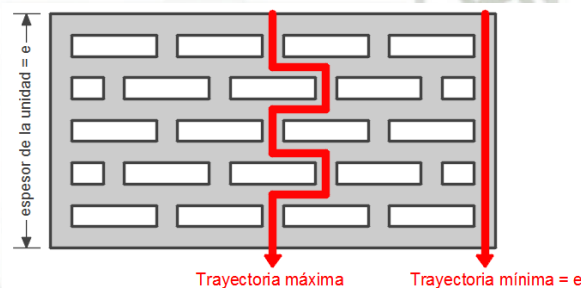


Figura 15: Esquema de máxima y mínima trayectoria térmica.

- Minimizar la cantidad de puentes térmicos, logrando una geometría que permita distribuir en la unidad el máximo de tabiques longitudinales, especialmente localizados en la zona central, de modo de incorporar cavidades que se interpongan al flujo del calor.

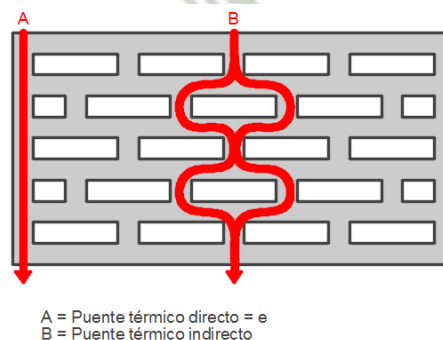


Figura 16: Esquema de puentes térmicos directos e indirectos.

- Distribuir el máximo de líneas de alvéolos en el sentido transversal, disponiéndolos en forma desfasada a fin de generar mayor impedimento al paso del flujo térmico.

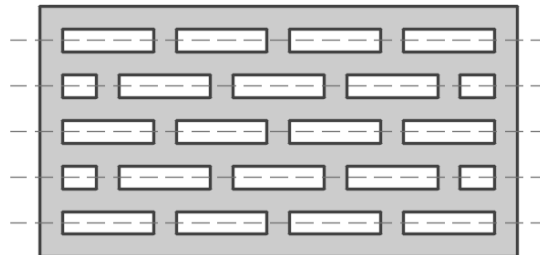


Figura 17: Distribución de líneas alveolares en el sentido longitudinal de la unidad.

### 3.3.1.2. Principios de diseño a partir de los conceptos de convección

Además de los conceptos conductivos, la convección es otro mecanismo de transmisión de calor, el cual se indica a continuación:

- Definir la forma de la cavidad alveolar, la cual será lo más oblonga posible, estrecha en el sentido del flujo térmico y alargada en el sentido perpendicular al mismo, dispuestas con su lado mayor perpendicular al flujo del calor.

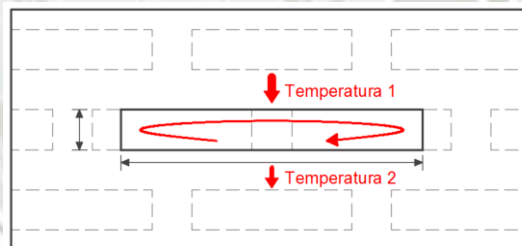


Figura 18: Cavidad alveolar oblonga para minimizar el efecto convectivo.

### 3.3.1.3. Principios de diseño a partir de los conceptos de radiación

Ya que la transferencia de calor por radiación depende de la diferencia de temperaturas entre las caras opuestas de las cavidades de la unidad, y mientras menor sea el espacio entre estas caras, menor será la diferencia de temperatura y por ende menor será la transmisión de calor por radiación, por lo tanto:

- Definir una forma de la cavidad alveolar de manera que el lado mayor de la misma se encuentre perpendicular al flujo térmico.

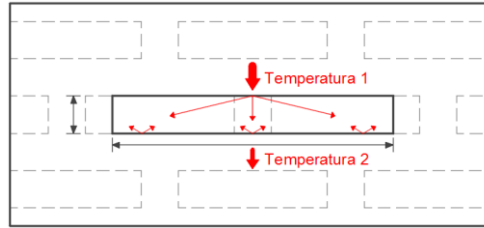


Figura 19: Cavidad alveolar oblonga para minimizar el efecto radiativo.

### 3.3.2. Principios de diseño según los aspectos físicos y morfológicos

En cuanto al primer aspecto, regulado por la norma E.070 Albañilería, el único principio de diseño que podría considerarse es el del 30% de vacíos para que la unidad se considere como sólida.

Sin embargo, dada que esta investigación está destinada al diseño de un nuevo formato, este principio no necesariamente será considerado para el diseño. Pero si se tomará en cuenta la recomendación dada por Gallegos & Casabonne que, cuanto mayor sea el porcentaje de alveolos en la unidad (hueca), se generará mayor trituración en la unidad ante carga sísmica.

El segundo aspecto, referido a la unidad durante su proceso de fabricación, tiene suma importancia ya que puede afectar a la empresa productora por el alto índice de pérdida que puede generarse a partir de un mal diseño y del cual no hay restricciones normativas, dependiendo únicamente del productor las regulaciones propias para cada unidad:

- La humedad de moldeo puede controlarse en el durómetro de la extrusora y por inspección visual durante la salida de la masa, la cual no debe tener fisuras ni deformaciones, y a su vez, debe estar bien compactada indicando el buen vacío aplicado a la masa durante la extrusión.
- En todas las etapas de fabricación las unidades son dispuestas de costado, distinto a cómo trabaja normalmente un muro de albañilería, sometiendo a las unidades a esfuerzos diferentes a las que está diseñada durante todo el proceso de fabricación. Frente a esto, debe buscarse que los esfuerzos laterales se repartan y no produzcan concentración de esfuerzos en ciertos nudos de la unidad.

En relación al tercer aspecto, de la geometría de la unidad, el diseño se efectuará considerando los requisitos necesarios para una adecuada extrusión a través del molde, manteniendo alveolos con dimensiones similares, tabiques internos de igual espesor y correctamente regulados.

Finalmente y consecuentemente con los objetivos de la investigación, se definirá a partir de los principios básicos de diseño térmico y morfológico, las líneas de trabajo que permitirán mejorar el comportamiento térmico de la unidad, sin condicionar sus propiedades mecánicas.

## CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIDAD

### 4.1. Desarrollo de los principios de diseño

A partir de los principios básicos de diseño, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos a fin de maximizar el comportamiento térmico de la unidad, siendo el principio de máxima trayectoria térmica, la que estará presente en todas, como una línea básica fundamental.

#### 4.1.1. Máxima trayectoria térmica

Este concepto es el principio fundamental para el desarrollo de la unidad termoresistente. Se basa en la intervención morfológica dentro del cuerpo del bloque y procura principalmente dificultar el paso del calor a través del ladrillo, obligándolo a recorrer una mayor trayectoria que el espesor del propio bloque.

La búsqueda de maximizar este concepto se muestra en los siguientes esquemas:

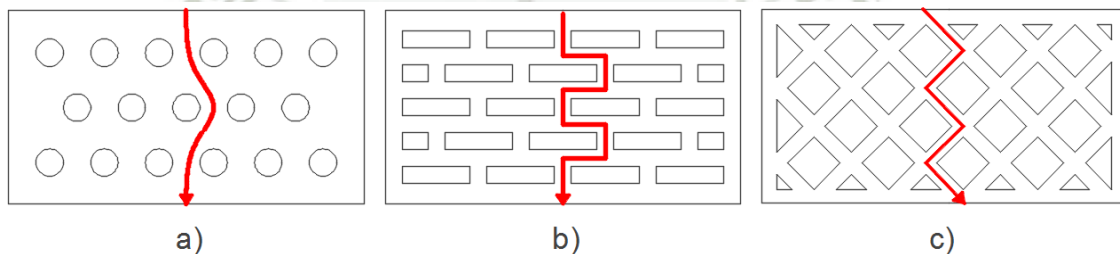


Figura 20: Esquemas basados en el principio de aumentar el recorrido del flujo del calor.  
Geometría basada en a) círculos, b) rectángulos, c) diagonales

Para lograr una máxima trayectoria térmica, debe seleccionarse geometrías internas que permitan una apropiada distribución de los alvéolos para dificultar el paso del flujo térmico, tomando en cuenta criterios complementarios que aumentan el aislamiento calórico de la unidad, que son:

- Lograr el máximo porcentaje de huecos distribuidos en pequeñas cavidades, para evitar el efecto convectivo y el ingreso de mortero al interior de las cavidades.
- Ubicar los alvéolos en forma desfasada, de manera que el flujo térmico no tenga una ruta recta a través del material, sino de derecha a izquierda.

- Incorporar el máximo de filas longitudinales de alvéolos en el sentido del flujo térmico, para que este encuentre mayor cantidad de obstáculos y barreras aislantes como lo es el aire.

#### 4.1.2. Cámara interna de aire en la unidad

Con este concepto se busca crear una cámara interna de aire que actúe como barrera térmica efectiva en el material, a través de la geometría interna de la unidad.

Para el desarrollo de la cámara interna, se divide a la unidad en tres zonas: los dos extremos longitudinales compuestos por pequeños alveolos y la zona central conformada por varias cámaras de aire que cortan cualquier puente térmico que pudiese formarse.

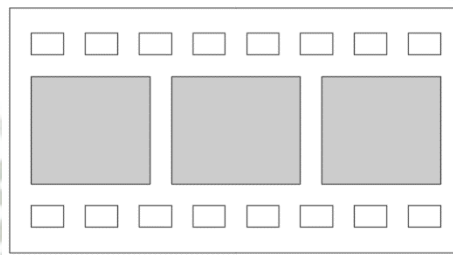


Figura 21: Esquema de cámara interna de aire en la geometría de la unidad.

#### 4.1.3. Configuración geométrica machihembrada

El concepto de ensamblaje entre unidades, tiene como principio interrumpir el flujo térmico a través de la eliminación del puente térmico generado a través del mortero de la junta vertical entre unidades.

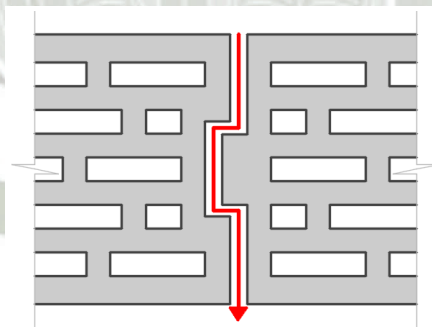


Figura 22: Concepto de unión machihembrada para junta vertical.

Dado que el mortero es un material con una conductividad térmica mucho mayor que las de las unidades de arcilla, hasta 3 veces mayor, es el principal puente térmico que se generan en los muros de albañilería. La reducción de cantidad de mortero colocado en un muro traerá consigo una disminución de flujo de calor a través de él.

Para ello, se desarrollará unidades con juntas laterales machihembradas que generarán el entrabe entre las unidades, evitando la colocación de mortero entre las mismas.

#### 4.1.4. Incorporación de aditivos en la materia prima

Esta alternativa pretende crear espacios homogéneamente distribuidos al interior de la pieza, con el fin de generar obstáculos al flujo térmico a través de la masa interna de la unidad.

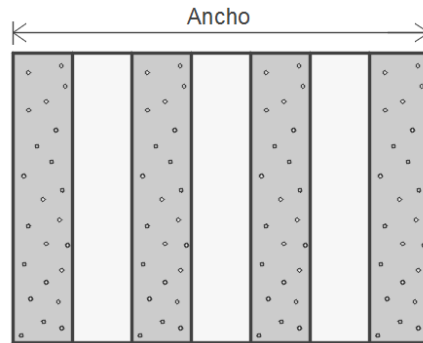


Figura 23: Vista en corte de la unidad con elementos granulares en la materia prima.

Lograr una correcta dosificación de los elementos granulares en la masa arcillosa de la unidad es uno de los objetivos de esta investigación, sin condicionar el acabado y las propiedades físicas y mecánicas de la unidad.

#### 4.1.5. Dimensiones de la unidad

El variar las dimensiones de la unidad para conseguir un mejor comportamiento térmico es una de las opciones más lógicas, especialmente en lo que se refiere al espesor del muro, tendencia observada en la mayoría de soluciones de ladrillo termoresistentes a nivel mundial, donde los espesores fluctúan entre los 20 a 45 cm. Sin embargo, en Perú, la idea de incrementar el espesor no es una solución factible, principalmente por dos motivos:

- El aumento en el espesor de los muros, significa reducir los espacios de los ambientes, afectando a la arquitectura y al confort del usuario.

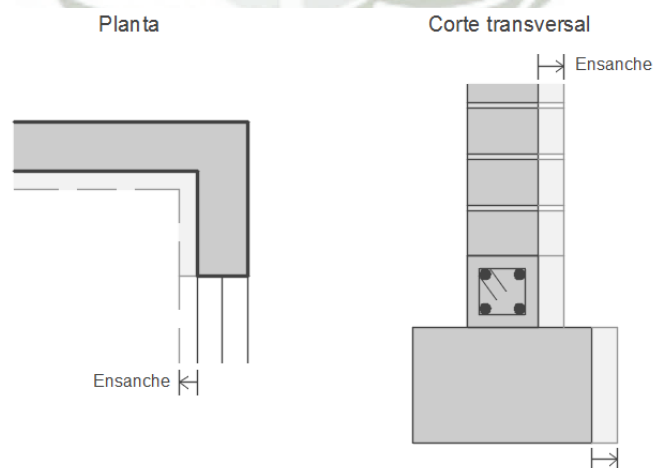


Figura 24: Esquema de ensanche de muro.

- Un incremento del espesor conlleva también a aumentar toda la estructura complementaria a la albañilería, como lo es aumentar el espesor de las vigas, columnas de confinamiento e incluso el espesor de las cimentaciones, sumado a ello el mayor peso propio de la estructura total y por ende, el aumento de los costos tanto en materiales como en mano de obra.

En cuanto a la altura de la unidad, su incremento no interviene en el diseño morfológico, por cuanto el alto de la unidad está determinado solamente por la medida del corte transversal al bloque de arcilla, el cual es perpendicular a cualquier intervención morfológica. Sin embargo, es una variable que afecta fuertemente al comportamiento térmico del muro de albañilería, puesto que está relacionado con el área frontal de la unidad frente al área frontal del mortero por unidad de superficie.

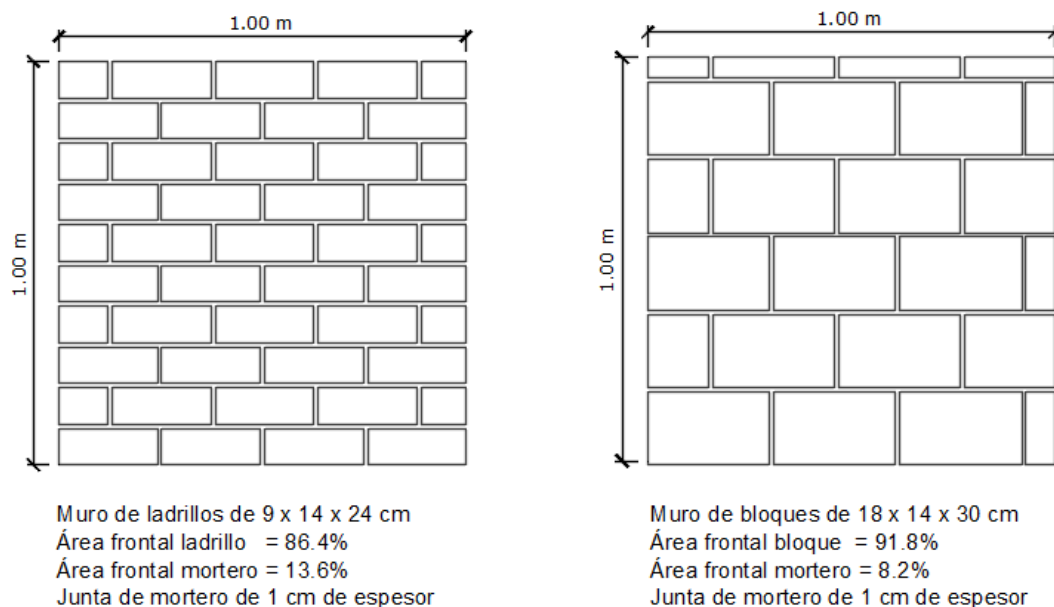


Figura 25: Comparación entre el área frontal de un muro de albañilería empleando ladrillo y bloque.

A partir de esto, se ha determinado realizar cambios en el alto y largo de la unidad. Un incremento en el alto y largo permitirá un mayor avance durante el proceso constructivo y una menor cantidad de unidades por metro cuadrado.

## 4.2. Evolución en el diseño de la geometría del bloque

A partir de los conceptos antes expuestos, se desarrollaron preliminarmente una serie de soluciones a fin de obtener el diseño más apropiado del bloque.

La primera consideración que se tomó, fue el incremento del largo de la unidad. Una mayor longitud de la pieza reduciría la cantidad de juntas verticales a emplear en el muro, con la consecuente reducción de flujo de calor.

Asimismo, se fijó que el ancho de la unidad se mantendría constante, manteniendo un valor tradicional de 14 cm para no influir en el espesor del muro.

El segundo aspecto considerado fue la inclusión del machihembrado en los laterales de la unidad, los cuales forman las juntas verticales en el muro. En base a ciertas limitaciones que se tienen en la industria cerámica, se consideró que el machihembrado tendría nervaduras no mayores a 1.5 cm para evitar probables fisuras en las conexiones de las mismas con la unidad durante la manipulación y secado de las piezas.

La figura 26 representa el marco propuesto inicialmente para la unidad (dimensiones en milímetros):

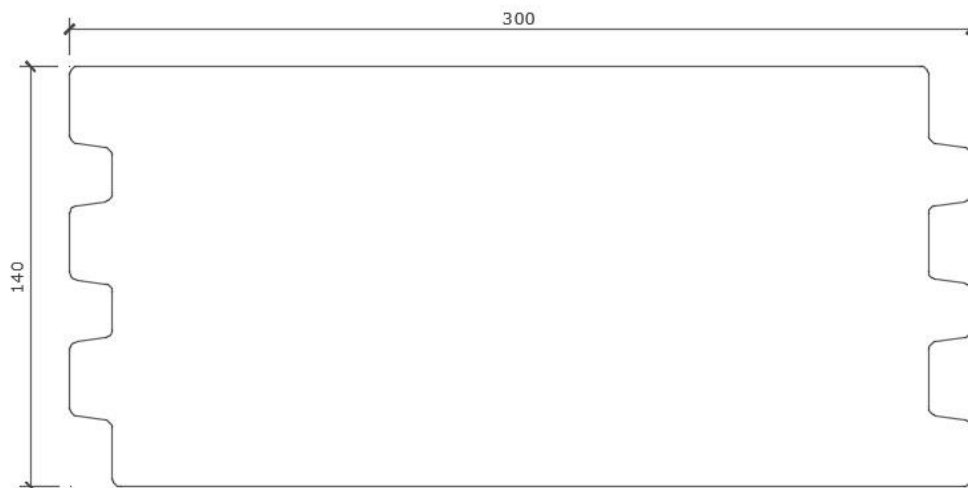
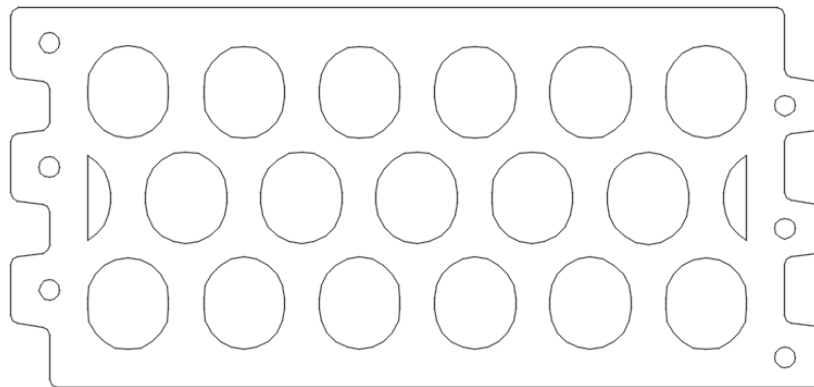


Figura 26: Configuración básica del marco del bloque.

Los siguientes desarrollos, se trabajaron en base al esquema inicial señalado en la figura 26.

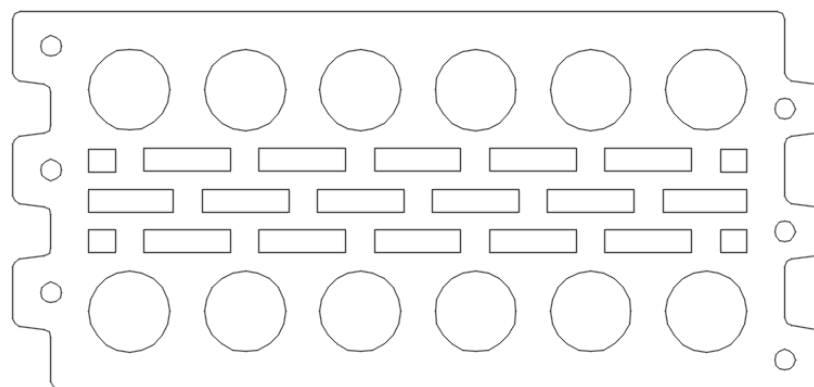
La figura 27 muestra la primera propuesta en donde se desarrolla una geometría en función al marco inicial presentado en la figura 26 y basado en la configuración típica de alveolos de los ladrillos king kong industrial fabricados en Perú.



*Figura 27: Diseño geométrico 1.*

En este primer diseño, los alveolos adoptaron una geometría basada en círculos de  $8.27 \text{ cm}^2$  de área, distribuidos intercaladamente para tratar de generar tabiquillos internos de similar espesor. A su vez, se incorporó pequeños círculos en el límite de las salientes machihembradas con el cuerpo de la unidad, a fin de evitar zonas con espesores muy gruesos que dificulten el proceso de secado y cocción.

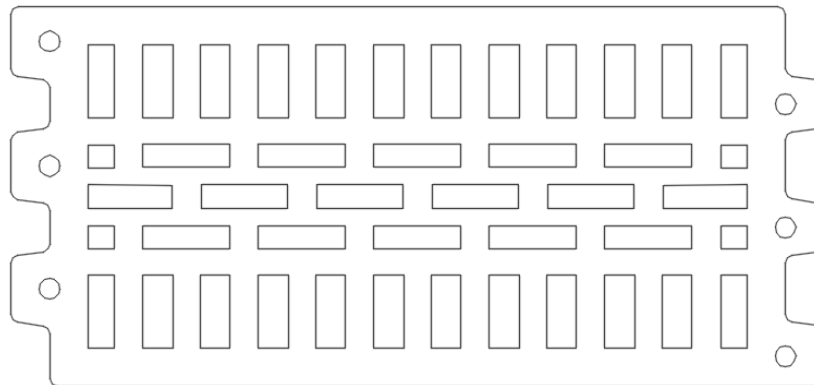
Sustentándose en la teoría de generar una cámara interna de aire, concepto que incorpora una mayor cantidad de alveolos en la zona central de la unidad, se diseñó la geometría mostrada en la figura 28:



*Figura 28: Diseño geométrico 2.*

En este diseño, se consideró alveolos centrales lo más oblongos posibles de  $0.85 \times 3.20 \text{ cm}$ , alargados en el sentido perpendicular del flujo térmico, ubicados en forma desfasada. Se mantuvo los alveolos circulares en las dos zonas externas longitudinales de la unidad.

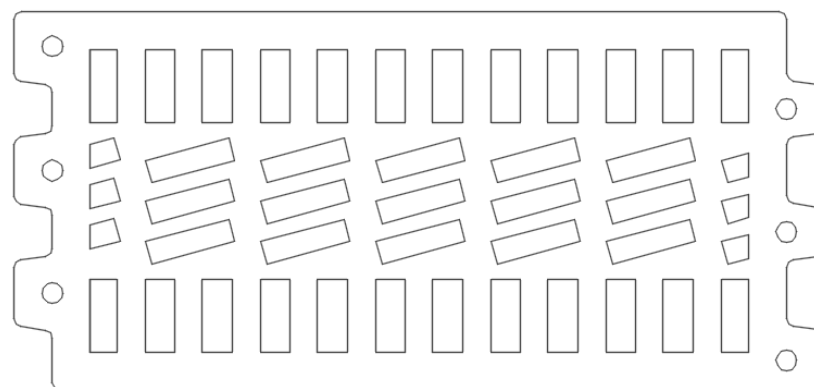
La figura 29 muestra la evolución del diseño, en donde se reemplazó la geometría circular por alveolos rectangulares en las caras externas longitudinales, con el fin de generar mayores trayectorias térmicas en la unidad.



*Figura 29: Diseño geométrico 3.*

Además, considerando los esfuerzos laterales a los que estará sometido la unidad durante el proceso productivo, se dispuso colocar el máximo de tabiques rectangulares en los laterales más largos de la unidad. Dicha modificación uniformizó el espesor de los tabique internos, evitando así que se produzcan mayores tensiones en aquellos que son más anchos respecto a otros.

En el siguiente diseño (figura 30), se trabajó en el ángulo de inclinación de los alveolos centrales. En la medida que la inclinación es cercana a los  $45^\circ$ , el recorrido térmico tiende a ser menor, ya que tiende a ser una línea recta. A medida que el ángulo se disminuye, el recorrido aumenta progresivamente.



*Figura 30: Diseño geométrico 4.*

Solo se consideró la inclinación de los alveolos centrales debido a que si se generaba algún tipo de inclinación en los alveolos de las caras longitudinales externas, se podría tener deformaciones en la pieza por las cargas superiores a las que se somete durante el apilamiento de las unidades en el proceso de secado y cocción.

En la configuración del diseño 5 (figura 31), se mejoró la geometría de la unidad, evitando alveolos muy pequeños en los extremos de la unidad y reduciendo también el espesor de los tabiques internos de la pieza, para lograr una mejor extrusión a través del molde.

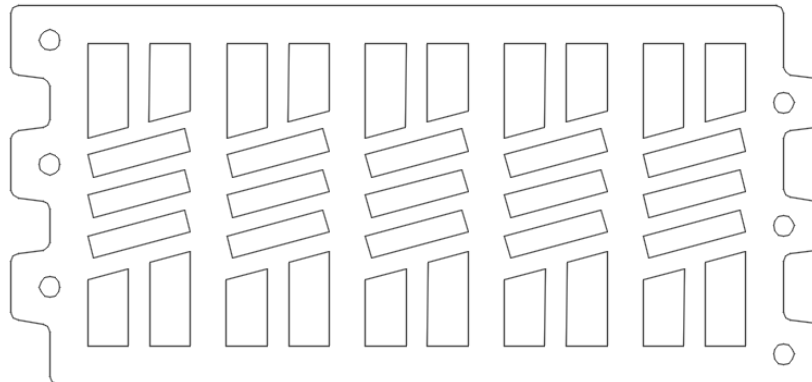


Figura 31: Diseño geométrico 5.

En el diseño 6 mostrado en la figura 32 se incorpora más alveolos tanto en las zonas externas como en la zona central de la unidad. A medida que se reduce el espesor de los tabiques, es decir, cuando se tienen tabiques más angostos, la trayectoria del flujo térmico tiende a ser una línea menos recta y con menos espacio para transmitirse a través de los tabiques, conllevando también a una trayectoria térmica significativamente mayor.

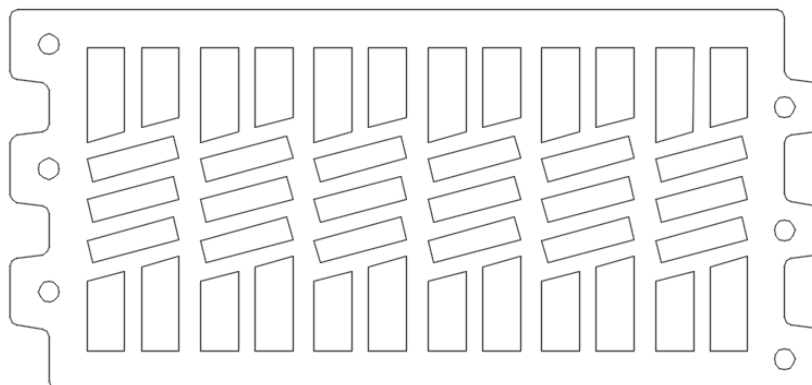
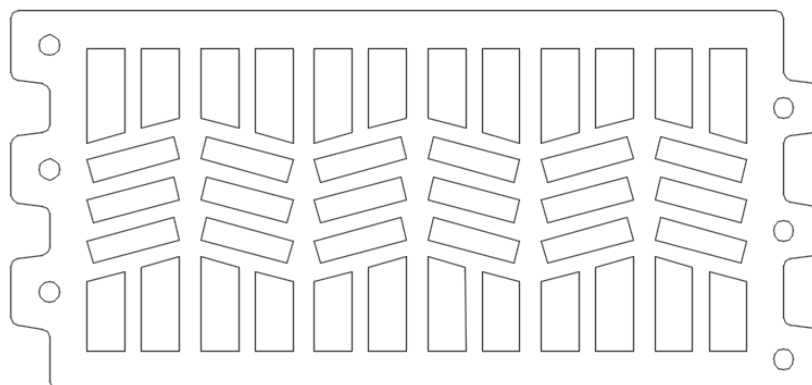


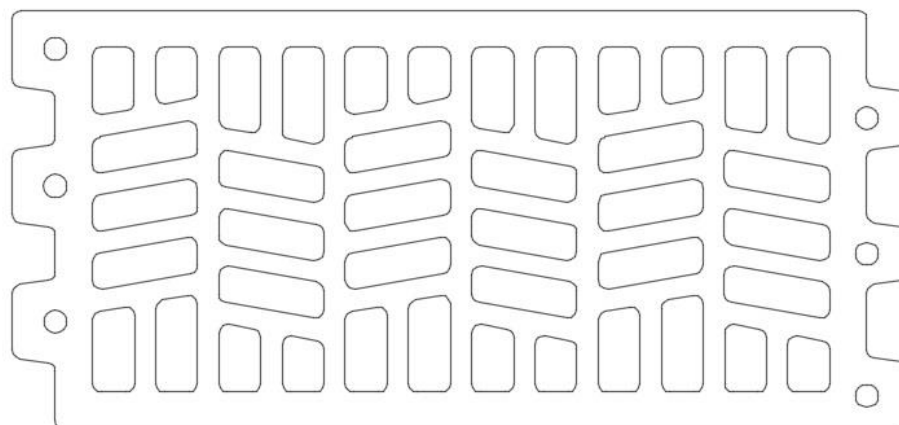
Figura 32: Diseño geométrico 6.

También se trabajó en la disposición de los alveolos centrales, de manera que las diagonales formadas por el ángulo de inclinación no sean demasiado largas, propias de los alveolos oblongos. Es por ello, que se adoptó intercalar dicha disposición, como se muestra en el diseño geométrico 7 de la figura 33, para que el recorrido de la trayectoria del flujo térmico encuentre mayor dificultad de paso.



*Figura 33: Diseño geométrico 7.*

Finalmente, se adoptó la configuración mostrada en la figura 34 en la que se dispuso colocar bordes redondeados en cada uno de los alveolos, para mejorar el flujo de la masa a través de la boquilla durante la extrusión. Además, se uniformizó el espesor de todos los tabiques internos de la unidad, condición que generó la alternancia de franjas de tamaños menores y mayores en los extremos de la unidad.



*Figura 34: Diseño geométrico final del bloque de termoarcilla.*

## CAPÍTULO V: BLOQUES DE TERMOARCILLA

### 5.1. Definición

El bloque de termoarcilla es un bloque cerámico cuyo material constituyente es arcilla aligerada, obtenida mediante la adición a la pasta arcillosa de componentes granulares que se gasifican durante la etapa de cocción sin dejar residuos, produciendo una uniforme y controlada porosidad añadida repartida en toda la unidad.

Por las propiedades de este material y gracias además a una geometría específicamente estudiada de celdillas múltiples y unión machihembrada, se puede obtener una pieza con características singulares, entre las que destaca el buen comportamiento mecánico y un mayor grado de aislamiento térmico y acústico.

### 5.2. Componentes del bloque de termoarcilla

#### 5.2.1. Materia prima (Arcilla)

##### 5.2.1.1. Los yacimientos

Los materiales arcillosos derivan de la degradación originada en tiempos remotos de rocas madres que todavía hoy, constituyen gran parte de la corteza terrestre.

Los procesos más importantes de transformación de las rocas primarias, en líneas generales, se pueden esquematizar como:

- Acciones de resquebrajamiento por el enfriamiento de la corteza terrestre con formación de fracturas y relieves montañosos, y también, la erosión ocasionada por acción del agua y el viento.
- Acciones de transporte y depósito debidos al agua, al viento y al hielo, que han formado depósitos de material de diversos orígenes, con alternancia de capas de mayor o menor espesor, según los periodos geológicos en que se formaron.
- Transformaciones químicas, originadas principalmente por el contacto de las superficies disgregadas expuestas a la atmósfera y el agua, con oxidación y alteración superficial en el tiempo, y favorecida con la presencia de altas temperaturas y presiones.

Cabe señalar que muchos de los diversos procesos de transformación descritos, pueden ser simultáneos y repetidos en el tiempo y en espacio, y no deben entenderse como acciones separadas o sucesivas. Los cambios posteriores hicieron que la corteza terrestre primitiva sea modificada superficialmente, ya que a partir de cierta profundidad,

la corteza terrestre es uniforme y está constituida por una capa de basalto (roca ígnea formada por el enfriamiento del magma).

Sólo la sílice y la alúmina representan el 75% de la corteza superficial, las cuales son el constituyente básico de la arcilla; y el 25 % restante está conformado por óxidos, en donde el feldespato es el mineral más abundante de entre todos.

Cuando el agua conteniendo  $\text{CO}_2$  entra en contacto con la roca feldespática, la disuelve y se lleva el  $\text{K}_2\text{O}$  y parte de la sílice, los cuales son arrastrados y llevados al fondo del mar, formando sales. El resto de la sílice y alúmina, después de un tiempo de contacto con la humedad, se hidratan y transforman en arcilla o caolín.

### 5.2.1.2. Composición granulométrica de la materia prima

En el gráfico 1 se muestra el diagrama de Winkler, que identifica subdivisiones que permiten establecer la utilización de la materia prima en unidades cerámicas en función a su distribución granulométrica.

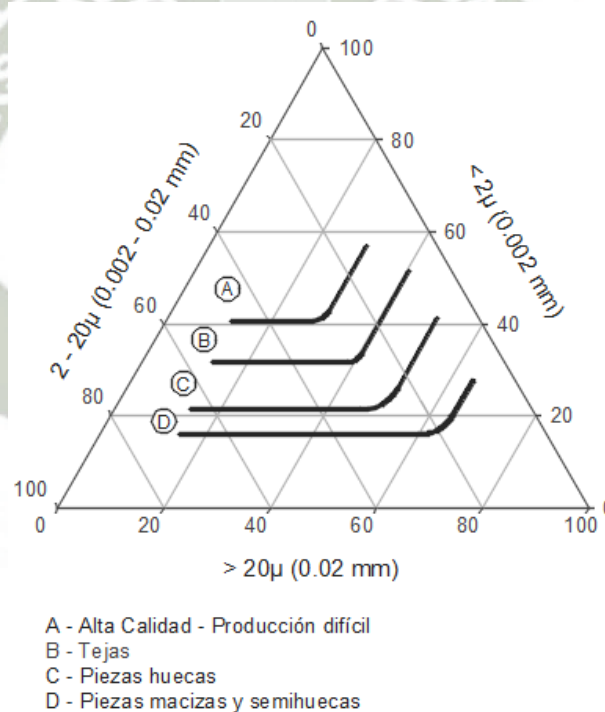


Gráfico 1: Empleo de la arcilla en función a su distribución granulométrica. Fuente Facincani

Según los porcentajes en peso correspondientes a la fracción inferior a 2 micras, a la fracción entre 2 y 20 micras y a la fracción superior a 20 micras, puede colocarse en el Diagrama de Winkler el punto representativo de la muestra, y establecer la subdivisión en que podría utilizarse dicha materia prima.

Suele subdividirse la muestra en varias fracciones:

- Las partículas superiores a los 2 mm  
No deberían existir en la masa para el moldeo, ya que inciden negativamente en la resistencia de las piezas y pueden generar fisuras en la superficie de las mismas.
- Las partículas entre 0.05 y 2 mm  
Corresponden a la fracción arenosa de la muestra, que debe oscilar entre el 20 y 30%. Esta fracción facilita el proceso de secado y reduce la contracción en la pieza.
- Las partículas entre 5 y 50 micras  
Son la fracción limosa y su porcentaje oscila entre 30 y 50%. Forman la carga de la masa arcillosa.
- Las partículas inferiores a 5 micras  
Esta fracción está constituida casi en su totalidad por arcillas propiamente dichas. Esta fracción es esta fracción es un porcentaje característico de la materia prima y brinda informaciones acerca de la plasticidad de la arcilla, la contracción, la resistencia mecánica en seco y cocido, y la mayor o menor porosidad de la unidad.

Cuanto menos plástica sea una arcilla, mayor sensibilidad presentará a los cambios de humedad. Por ello, además de la distribución granulométrica, es importante determinar la plasticidad por medio de los límites de Atterberg.

#### 5.2.1.3. Composición química de la materia prima

En una muestra de suelo arcilloso, además del material arcilloso propiamente dicho, se tienen compuestos no plásticos que suelen representar los 2/3 del total, los cuales permiten que la arcilla pueda procesarse.

Una primera subdivisión de los componentes de la materia prima utilizada en la producción de las unidades de arcilla es la siguiente:

- Arcilla propiamente dicha
- Material de distribución granulométrica más gruesa, que en el proceso de producción se comporta más o menos inerte
- Impurezas de mayores dimensiones (arenas gruesas, rocas, madera, fósiles)
- Sustancias químicas diversas

## a) Arcilla propiamente dicha

Las arcillas son silicatos de aluminio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) formados a partir de la descomposición de rocas silíceas y aluminosas; y son las responsables de las características representativas de los materiales para ladrillos y bloques, como la cohesión, la plasticidad, la trabajabilidad y la resistencia mecánica del producto en seco y cocido.

Las arcillas se caracterizan por la finura de sus partículas, que en general no son superiores a 20 micras y en su mayoría son inferiores a 2 micras.

La arcilla al combinarse con agua, genera reacciones que difícilmente se encuentran en otros materiales. Se caracterizan esencialmente por:

- Gran deformabilidad y plasticidad de la pasta de agua y arcilla bajo la acción de una fuerza, que le permite ser moldeada y mantener una forma cualquiera.
- Endurecimiento y desarrollo de una notable fuerza de cohesión (dureza) después de que la pasta se ha secado, adquiriendo una mayor compacidad a medida que aumenta la temperatura, hasta alcanzar una consistencia rocosa a 900 – 1000 °C aproximadamente.
- Posibilidad de reversibilidad completa del fenómeno de humectación de la pasta si aún no se ha eliminado el agua de constitución o la temperatura de cocción aún no ha superado los 500°C.

Las arcillas son el componente principal de la pasta con la cual se forma las unidades cerámicas, y es por ello que la cantidad de arcilla contenida en la materia prima empleada varía del 15 al 45% en peso, en granulometrías inferiores a 2 micras.

A lo largo del tiempo la arcilla ha sido un material complicado, por su comportamiento, en el campo de la construcción, por lo cual es necesario, tener en cuenta las características y propiedades que posee la arcilla usada para la fabricación cerámica.

Una de las principales características de las arcillas, es el hinchamiento que se produce en las arcillas húmedas en contacto con el agua, respecto a las arcillas secas. El agua envuelve a las partículas de arcilla y se fija en su superficie, distanciándolas y permitiendo su desplazamiento. Este aumento de volumen en las arcillas debido a la absorción de agua, seguida de una contracción por la pérdida de agua, constituye un fenómeno muy importante en el proceso de producción de los bloques.

El contenido de alúmina representada el estado más puro de la arcilla, ya que se encuentra casi siempre formando parte de la arcilla, a diferencia de la sílice. El porcentaje de alúmina es un indicador de la concentración de minerales arcillosos en la arcilla y de su plasticidad.

Durante la cocción, la alúmina forma mullita, que es un compuesto que se cristaliza, formando agujas que elevan la resistencia mecánica y aumento de la temperatura de fusión de la pieza.

La calidad de una arcilla para ser utilizada en la fabricación del producto depende de sus características como la plasticidad, capacidad de absorción al agua, capacidad de cohesión, índice de trabajabilidad, contracción en el secado y durante la quema.

b) Elementos de granulometría gruesa o fundentes

La materia prima utilizada en unidades cerámicas, además de la arcilla propiamente dicha, depende de su contenido en fundentes y elementos de granulometría más gruesa presentes en la misma, donde los más representativos son:

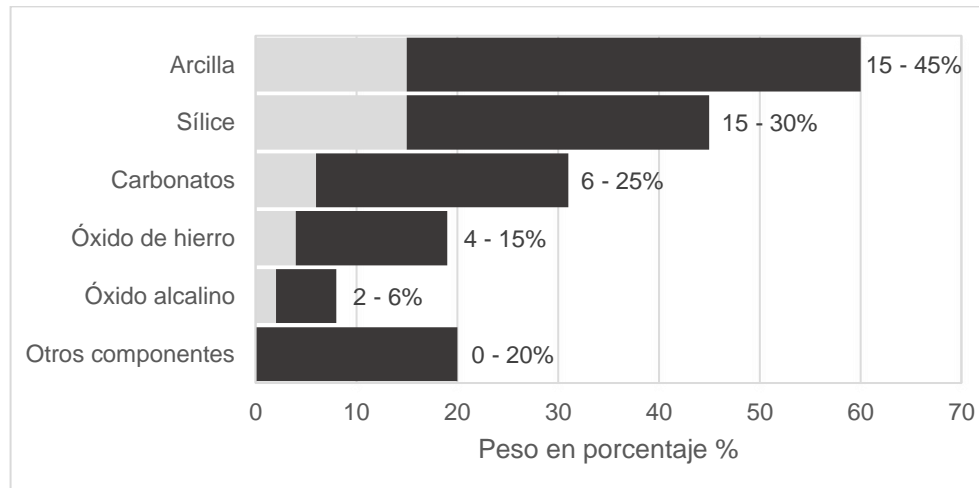


Gráfico 2: Porcentaje de los componentes de los materiales arcillosos para unidades cerámicas.

- Cuarzo o sílice libre ( $\text{SiO}_2$ )

Comúnmente conocida como arena silíceo, es uno de los materiales más duros que se conocen, y forma parte del mineral arcilloso. Se encuentra en porcentajes entre el 15 a 30% en peso, con una granulometría generalmente superior a 20 micras, pudiendo llegar a 200 micras.

Durante el precalentamiento, la sílice tiende a expandirse más que la arcilla, y durante el enfriamiento tiene una menor contracción, por lo que el peligro que aparezca roturas de cocción es menor, siempre y cuando la sílice libre se encuentre en cantidades aceptables.

- Carbonatos de calcio y magnesio ( $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ )

Los carbonatos que se encuentran en los materiales arcillosos preferentemente están constituidos por carbonato de calcio y en menor medida por el carbonato de magnesio; con un porcentaje total que no supera el 25%. Los carbonatos pueden encontrarse en granulometrías muy finas, o algunas veces, en forma gruesa como grumos de cal.

Los carbonatos de calcio y magnesio, durante la cocción, se disgregan y desprenden anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera gaseosa del horno, quedando en el interior de la pieza un residuo blanco de  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ , los cuales reaccionan con la sílice presente en la arcilla. La descomposición del carbonato de calcio se verifica a partir de los  $800^\circ\text{C}$

y la del carbonato de magnesio a una temperatura de 600°C, con notable absorción de calor.

Sin embargo, si el carbonato de calcio o magnesio se encuentran en una granulometría gruesa o la cocción es insuficiente, puede que solo una parte de este reaccione con la arcilla, quedando el resto de CaO libre en la pieza, que al hidratarse con la humedad del ambiente después de la cocción, genera un incremento de volumen y produce explosiones o desconchamientos en la superficie de la pieza, conocidos como “caliche”. Asimismo, cuando el ladrillo es mojado antes de ser utilizado en la construcción de muros, este óxido se disuelve en el agua y forma eflorescencias blancas de carbonato de calcio.

- Óxidos metálicos

Excluyendo los óxidos de calcio y magnesio ya citados, el óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y el óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ) son los más comunes, y entre ambos no constituyen más del 10% de la composición mineralógica.

El óxido de hierro (2-15%) es uno de los principales responsables del color obtenido en el producto final, conjuntamente con el tamaño de las partículas y la homogenización de la pasta.

El óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ), puede dar lugar a la aparición del corazón negro en la pieza, debido a que el aporte del oxígeno hasta el interior de la pieza es insuficiente para que la sustancia orgánica se complete de oxidar, aumentando el peligro de roturas.

El óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) es la forma más estable, y es el que confiere la tonalidad roja característica al ladrillo.

Otros óxidos como el de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), están presentes en cantidades mínimas y globalmente no alcanzan el 5%. El contenido de estos óxidos alcalinos determina la temperatura necesaria para obtener un grado de cocción de la pieza, y por ende la resistencia y absorción deseada. En aquellas arcillas con contenidos de alrededor del 5%, la temperatura de cocción es entre los 825 y 850°C; mientras que aquellas que tienen porcentajes inferiores al 1% la temperatura de cocción es entre 1100 y 1200°C.

- Feldespatos

Los feldespatos, son compuestos de base sílico-aluminosa, presentes en la arcilla con granulometría finísima. Se comportan como inertes y solo reaccionan en cocción con las partículas arcillosas, entrando a formar parte de la estructura cristalina del material cocido.

c) Impurezas gruesas

Impurezas como madera, raíces, fósiles y otras pueden crear problemas tanto al producto en la fase de fabricación como al funcionamiento de la maquinaria. Es por ello

que deben eliminarse durante la preelaboración por medio de rejillas y una adecuada revisión de la materia prima.

d) Sustancias químicas

Estas sustancias son diversas, entre las cuales están:

- Sales solubles (sulfatos y sulfuros (piritas))

Las sales solubles en su mayoría se encuentran como: sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) y de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ); y en porcentajes variables según el tipo de arcilla. La presencia de piritas (sulfuros) en un material arcilloso puede provocar la formación de sulfatos durante la cocción produciendo eflorescencias en el ladrillo cocido, especialmente si se tiene también un considerable contenido de carbonato de calcio.

- Cloro y flúor

No siempre están presentes en la materia prima, pero incluso en pequeñas cantidades (0.1%) suponen un gran problema, especialmente en las estructuras de los hornos.

- Compuestos orgánicos

En la materia prima utilizada en ladrillos, el porcentaje de compuestos orgánicos es insignificante; ya que están presentes en su mayoría en las capas superficiales de los yacimientos, las cuales no se utilizan.

Si están presentes, disminuyen la porosidad de la unidad y pueden provocar roturas frecuentes en el secado. Las arcillas con sustancias orgánicas dan problemas de eflorescencias y forman el indeseado corazón negro en las piezas cerámicas.

Todos estos elementos e impurezas se encuentran en granulometría variable, alterando la plasticidad, la contracción, la resistencia mecánica, la dilatación, el punto de fusión, la formación de diferentes tonalidades, etc. de la arcilla en la materia prima.

#### 5.2.2. Agua

El agua empleada en la fabricación de los bloques de termoarcilla fue agua potable, libre de impurezas sólidas que pudiesen generar atascos y deterioro en la maquinaria de todo el proceso de fabricación. Asimismo estuvo libre de sustancias orgánicas y ácidos que pudiesen reaccionar negativamente con la arcilla generando corazón negro o eflorescencias en las piezas cocidas.

### 5.2.3. Perlitas de poliestireno expandido

Las perlitas de poliestireno expandido son pequeñas esferas de diámetros variables entre 3 mm a 5 mm, caracterizadas por su baja densidad y la capacidad de mantener aire confinado en microscópicas celdas en su interior.

El poliestireno expandido es un material que se obtiene a partir de la polimerización del estireno y la adición de un agente expansor: el pentano. Luego de la pre-expansión, las perlitas son colocadas en máquinas de moldeo, en donde se les aplica energía térmica para que el agente expansor conteniendo las perlitas se caliente y aumente su volumen, adquiriendo la forma de los moldes que lo contienen.

Muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas a la excelente capacidad de aislamiento térmico que posee, sin embargo, su empleo en la masa de arcilla para la fabricación de bloques de termoarcilla estará referida a la porosidad añadida que brinda a las piezas cocidas, ya que estos componentes se evaporan durante la cocción dejando celdillas de aire interior, incrementando la capacidad de aislamiento térmico de los bloques.

Al ser un material no higroscópico, los valores de absorción de agua del mismo son mínimos entre el 1 y 3% luego de 28 días de inmersión. Asimismo, la estabilidad que presenta frente a la temperatura permite que sus propiedades se mantengan constantes hasta los 80°C, temperatura a partir de la cual empiezan a contraerse y finalmente fundirse sin dejar residuos. Dadas estas propiedades, además de ser un material inerte, liviano y de fácil manipulación, permite su adición en la masa arcillosa en el proceso de elaboración sin reaccionar con la misma.

Para la elaboración de los bloques de termoarcilla se empleó perlitas de poliestireno expandido con diámetros variables entre 2 y 3 mm, con una densidad de 10 kg/m<sup>3</sup>.



*Figura 35: Perlitas de poliestireno expandido empleadas en el bloque de arcilla.*

## CAPÍTULO VI: METODOLOGÍA Y MATERIALES

### 6.1. Metodología

Teniendo en cuenta el bloque de termoarcilla que se propone, inicialmente se seleccionó la composición de mezclas de suelo más óptima para lograr las propiedades deseadas en la unidad. Para ello se tomó en cuenta principalmente la composición química, la distribución granulométrica y la plasticidad, sin dejar de lado la contracción de cocción de la arcilla. Para esta fase inicial se nombró a cada muestra de suelo según la cantera de donde provenían.

Posteriormente se elaboró las unidades a partir del suelo seleccionado y con diferentes dosificaciones de perlitas de poliestireno expandido en la masa. Para la selección del tamaño adecuado de las perlitas de poliestireno, se realizó una prueba en vacío produciendo unidades considerando perlitas de 2 mm y 5 mm de diámetro máximo respectivamente con la misma dosificación en la masa. El criterio usado para el proceso de selección del diámetro a utilizar en los bloques de termoarcilla fue en esencia aquel que genere menores fisuras y explosiones en el bloque en estado húmedo, seco y cocido, seleccionando finalmente las perlitas con diámetros de entre 2 y 3 mm.

Durante la elaboración de los bloques, se emplearon 4 diseños en función al porcentaje de poliestireno añadido en la mezcla. Todos los diseños se realizaron utilizando el Piñón 19 en la cortadora, es decir, una altura de unidad de 19 cm en estado húmedo. Asimismo se mantuvo una presión de extrusión de 12 kgf/cm<sup>2</sup> a fin de mantener constante la humedad de la masa en todos los diseños, con un vacío de 440 mmHg. La elaboración de todas las unidades de los diferentes diseños se realizó con la Línea MSM 320, maquinaria de la planta mecanizada.

Luego, se realizó los ensayos clasificatorios y no clasificatorios a los 4 diseños propuestos según la normativa vigente para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades.

En la última etapa de la investigación, luego de analizar los resultados y seleccionar el diseño definitivo, se realizó una producción de unidades de cantidad suficiente para realizar los ensayos de prismas de albañilería y el ensayo de cámara térmica en base a la reglamentación vigente para cada ensayo.

## 6.2. Materia Prima

### 6.2.1. Ensayos a la materia prima

#### 6.2.1.1. Análisis granulométrico por tamizado y sedimentación

Este ensayo se realizó para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de las partículas del suelo. La distribución de tamaños de las partículas del suelo con diámetros mayores que 75 micras, es decir, retenidas en el tamiz N° 200 se determina por tamizado, y para aquellas con distribución más fina que dicho tamiz, por sedimentación.

##### a) Análisis granulométrico por tamizado

Se utilizó el método descrito en la Norma MTC E 107 – 2016 (NTP 339.128/ASTM D422) para determinar los porcentajes de suelo que pasan a través de los distintos tamices de la serie empleada para el ensayo hasta la malla N° 200 (0.074 mm)

Dada las características y elevada proporción de materiales finos en los suelos utilizados, el análisis con tamices se realizó con la muestra después de separar los finos por lavado. Dicho lavado de la muestra se realiza para desmenuzar y ablandar los terrones presentes en la muestra y a su vez, eliminar los finos adheridos a partículas mayores, y de esta manera evitar una falsa granulometría del material.



Figura 36: Máquina tamizadora.

Para ello se pesó la totalidad de la muestra, para luego colocarla en un recipiente cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que los terrones se ablanden. A continuación, se lava la muestra con un chorro de agua constante sobre el tamiz N° 200 a fin de que pasen la mayor cantidad de finos, hasta que el agua que pasa a través del tamiz mantenga su transparencia. Luego la muestra es secada en el horno durante 24 horas y se pesa nuevamente.

La cantidad de finos eliminados será la diferencia entre el peso inicial antes del lavado y el peso final luego del lavado y secado en el horno. Con el resto de la muestra se realiza el tamizado, haciéndola pasar por la serie de tamices indicados en la norma, tal como se indica: Tamiz N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 y N° 200.



Figura 37: Distribución granulométrica de la muestra 1.

#### b) Análisis granulométrico por sedimentación

Este método de ensayo se realizó según la Norma MTC E 109 – 2016, la cual detalla el procedimiento para determinar el porcentaje de partículas finas de una muestra, basada en la Ley de Stokes que rige la caída libre de una esfera en un líquido. Para ello se utiliza el hidrómetro, el cual, a través de la densidad del fluido que contiene la muestra en suspensión durante un determinado tiempo, permite obtener la distribución de las partículas de tamaños inferiores al tamiz N° 200 de un suelo.

La cantidad de muestra empleada para el ensayo fue de aproximadamente 50 g. Se colocó la muestra en una probeta junto con una solución defloculante (40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución) para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas de suelo durante 24 horas. Pasado el lapso de tiempo, se introdujo el hidrómetro en la probeta que contenía la solución de suelo y defloculante, y se registraron las lecturas obtenidas con el hidrómetro bajo menisco durante un día.

No se extendió el ensayo durante mayor tiempo, debido a que las partículas de tamaños menores a 0.2 micras (0.0002 mm) se ven influenciadas por la excesiva turbulencia y por el movimiento Browniano (fuerzas de atracción y repulsión entre partículas), impidiendo lecturas reales.



Figura 38: Probetas empleadas para el análisis granulométrico por sedimentación.

A medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión, el hidrómetro se hundirá aumentando su profundidad de inmersión. Esto se debe a que las partículas de mayor tamaño sedimentaran más rápido que las más pequeñas.

#### 6.2.1.2. Gravedad específica de sólidos

Realizado según la Norma MTC E 113 – 2016, la cual define a la gravedad específica de sólidos a la relación del peso específico de las partículas de un suelo y el peso específico del agua destilada. La gravedad específica de sólidos permite determinar la densidad de los sólidos del suelo, y por ende necesario para el ensayo de granulometría por sedimentación.



Figura 39: Pícnómetro con muestra de suelo en ebullición.

Para la determinación de la gravedad específica, se utilizó un picnómetro al que se le añadió 80 g de muestra de suelo y llenado con agua hasta sus 3/4 de capacidad. El picnómetro se calentó en una hornilla hasta el punto de ebullición para asegurar que el agua esté desairada. Luego se completa el volumen del picnómetro con agua destilada

hasta la marca indicada en el mismo. Se registró para diferentes temperaturas los pesos correspondientes, además del peso del picnómetro únicamente con agua destilada, para finalmente calcular la gravedad específica del suelo a 20°C.

### 6.2.1.3. Límites de consistencia

Los límites de consistencia se utilizan para determinar el comportamiento de los suelos según el contenido de agua presente en ellos. Cuando el contenido de agua es bajo el suelo se comporta como un sólido, mientras que si es alto el suelo se comporta como un líquido, es decir, dependiendo del contenido de agua, el suelo va pasando sucesivamente los estado de sólido, semisólido, plástico y fluido. Los contenidos de humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg.

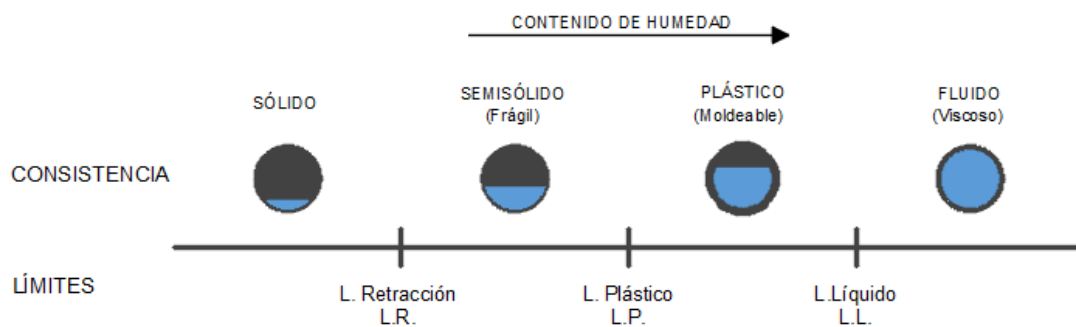


Gráfico 3: Consistencia del suelo según el contenido de humedad.

Para determinar el rango de humedad dentro del cual el suelo tendrá un comportamiento plástico, se utiliza el Índice de Plasticidad IP, que resulta de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. ( $IP = LL - LP$ ). Con índices de plasticidad inferiores a 10, puede resultar problemático mantener la humedad de amasado dentro de los límites tolerables para el moldeo de las unidades de arcilla.

Determinar la plasticidad del suelo mediante los límites de Atterberg también es un aspecto importante para el moldeo por extrusión, dado que cuanto menos plástica sea la arcilla, mayor sensibilidad presentará a los cambios de humedad.

Los ensayos descritos a continuación nos permitirán determinar este índice para cada muestra analizada.

#### a) Límite líquido L.L.

El límite líquido corresponde a la máxima humedad que el suelo puede contener siendo todavía moldeable. Por encima de este nivel de humedad, el suelo cambia su comportamiento al de un fluido viscoso, en donde la cohesión interna es tan baja que la pieza recién moldeada no aguantaría su propia forma.

La determinación del límite líquido de la muestra se realizó en base a la norma MTC E 110 – 2016, en donde se calcula el contenido de humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada (Cuchara de Casagrande), y que luego de realizar un surco con un acanalador normalizado el cual divide en dos mitades a la pasta, se une lo largo de su fondo una distancia de 13 mm, tras haberse dejado caer 25 veces la cuchara indicada con una frecuencia de 2 caídas por segundo y desde una altura de 10 mm.



Figura 40: Cuchara de Casagrande con muestra de suelo.

b) Límite plástico L.P.

El límite plástico representa la mínima humedad que el suelo debe contener para poder ser moldeado.

El ensayo se realizó según la norma MTC E 111 – 2016, en donde lo define como el contenido de humedad más bajo presente en el suelo con la que puedan formarse barritas cilíndricas de 3 mm de diámetro, girando dicha muestra con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta que las barritas cilíndricas empiecen a presentar agrietamientos.



Figura 41: Muestras de suelo para el ensayo de límite plástico.

#### 6.2.1.4. Composición química

La determinación de la concentración de elementos químicos en las muestras de suelos, se realizó a través del ensayo ICP95A – ICP AES Scan Digestion con metaborato de litio, en los laboratorios de SGS Perú S.A.C. (Anexo F)

Para este ensayo, se tamizó las muestras por la malla N°200 hasta obtener aproximadamente 50 g de material pasante de cada una, denominadas “pulpas”, las cuales deben estar libres de impurezas.

El ensayo de digestión con metaborato de litio consiste en preparar una solución añadiendo a la muestra un fundente, en este caso metaborato de litio. La solución de muestra y fundente es sometida a un proceso de fusión, en donde la muestra previamente oxidada – reducida se disuelve en el fundente a temperaturas de alrededor de 1000°C en un intervalo de 3 a 5 minutos, permitiendo la disolución de los minerales contenidos en la muestra, conocido como “tratamiento de digestión”.

Para determinar la concentración de metales, se introduce la fusión en caliente en el instrumento ICP – AES (Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado por inducción), que permite analizar simultáneamente muchos elementos en niveles tan bajos de hasta 10 ppb.

El ICP – AES funciona utilizando un plasma de argón que es inyectado a la muestra líquida, con el fin de atomizarla y producir iones independientes, los cuales emiten energía a diferentes longitudes de onda según la cantidad de átomos presentes del metal correspondiente en la muestra.

### 6.2.2. Resultados de los ensayos a la materia prima

Para la realización de este trabajo de investigación se ha examinado suelos de diferentes localidades de Cusco. Un suelo proveniente de la localidad de Jancoca, otro de la zona de Langui y finalmente arcilla estratificada traída de Langulago.

Para cada muestra de suelo se ha realizado los ensayos antes mencionados a fin de clasificarlos y seleccionar el suelo idóneo para la fabricación de las unidades.

Estas materias primas han sido sometidas a un tratamiento previo consistente en secado, trituración y molienda por una malla de 2 mm. Posteriormente se ha procedido a su caracterización granulométrica, así como al estudio de su composición química.

Se utilizó las siguientes normas:

- MTC E 107 – 2016 Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- MTC E 109 – 2016 Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.
- MTC E 113 – 2016 Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua.
- MTC E 110 – 2016 Determinación del límite líquido (LL) de los suelos.
- MTC E 111 – 2016 Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e Índice de plasticidad (IP).
- ICP95A – ICP AES Scan Digestion con metaborato de litio ASTM D6357 – 11.



Figura 42: Muestras de diferentes localidades de Cusco.

#### 6.2.2.1. Suelo de Jancoca

El suelo empleado es una muestra de tierra arcillosa procedente de las canteras de Jancoca de la provincia de Canchis (Cusco).



Figura 43: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps



Figura 44: Suelo de la cantera Jancoca.

Está conformado por granos finos de tonalidades marrones, ocre y amarillos, aglomerados en forma de grandes terrones. Al ser un suelo con considerable plasticidad y con partículas de textura fina, al entrar en contacto con agua se unen formando terrones muy compactos. Por ello, su extracción se realizó utilizando maquinaria pesada como cargador frontal junto con volquetes de la empresa.

Para esta muestra de suelo se realizó el análisis granulométrico por tamizado con lavado y se complementó con el análisis granulométrico por sedimentación por medio del hidrómetro, ya que el 59.19% de la muestra correspondía al porcentaje de material fino pasante de la malla #200.

Previamente se obtuvo su gravedad específica de 2.608 gr/cm<sup>3</sup>.

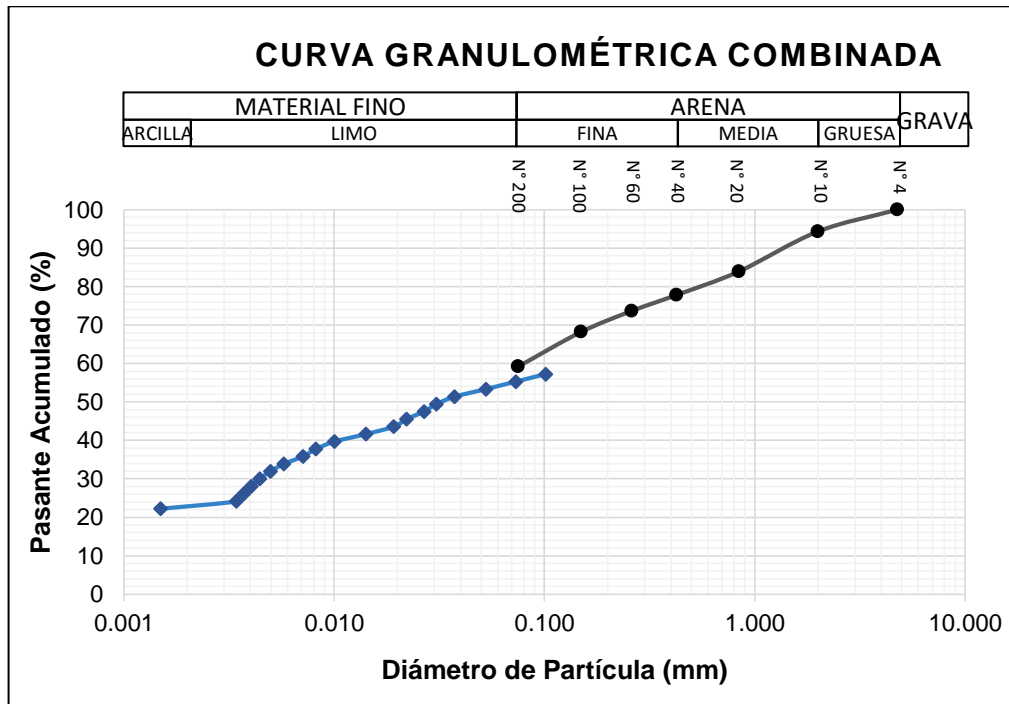


Gráfico 4: Curva Granulométrica Combinada.

En relación a su granulometría, podemos observar que el 23.10% corresponde a la arcilla del total de la muestra (diámetro inferior a 0.002 mm).

Realizando los límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

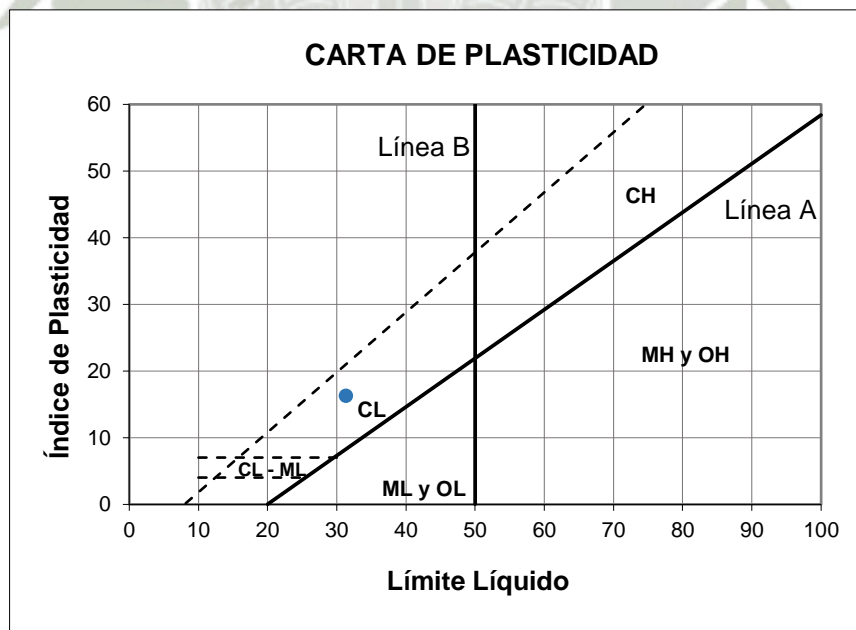


Gráfico 5: Carta de Casagrande del suelo de Jancoca.

- Limite Líquido LL de 31.40%
- Limite Plástico LP de 15.22%
- Índice de Plasticidad IP de 16.18%

Por tanto, según el sistema de clasificación de Casagrande, el suelo corresponde a la clase CL. Se trata de un suelo arcilloso de baja plasticidad.

Se obtuvo los siguientes datos relacionados a su composición química:

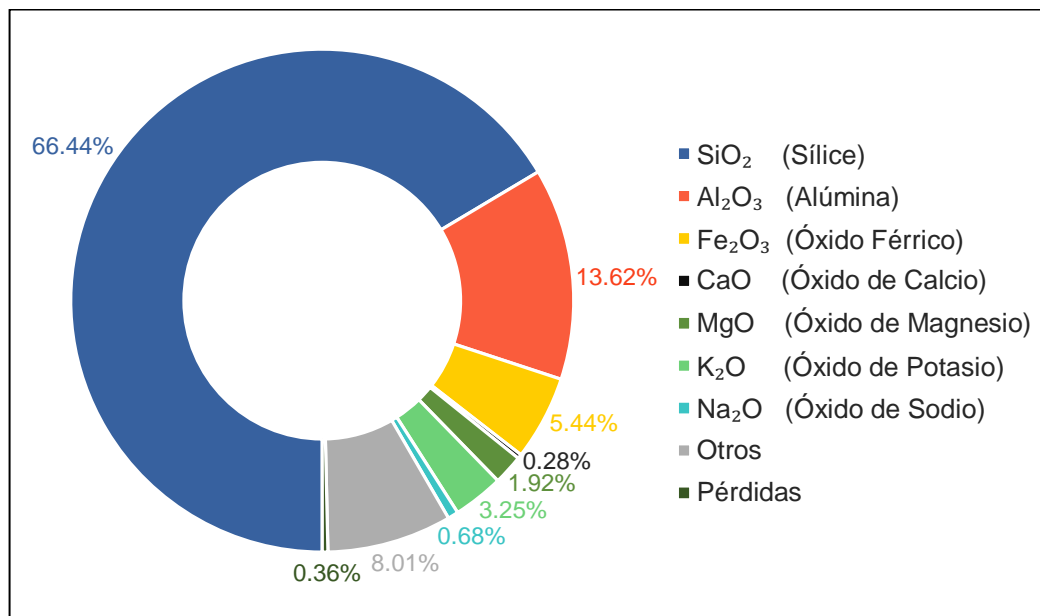


Gráfico 6: Composición química del suelo de Jancoca.

En el gráfico 6 pueden verse los resultados obtenidos del ensayo químico. Si la arcilla analizada hubiese sido caolín puro, encontraríamos solo tres componentes (sílice 39%, alúmina 47% y agua 14%). Sin embargo, los resultados consignados distan mucho de esta composición teórica, ya que en la práctica, además del material arcilloso propiamente dicho, existe una serie de compuestos acompañantes no plásticos que suelen constituir las dos terceras partes de la muestra y su presencia es necesaria ya que una arcilla pura no se podría procesar.

En la muestra se tiene un alto porcentaje de sílice del 66.44%, aspecto importante ya que influenciará en el comportamiento de la arcilla y de las propiedades físicas y mecánicas del producto principalmente reduciendo la humedad de moldeo y la contracción de secado, sin embargo aumentará la porosidad de la pieza cocida disminuyendo su densidad y resistencia mecánica.

Por otro lado, el porcentaje de alúmina es del 13.62%, un indicador de la concentración de minerales arcillosos y de su plasticidad. Considerar que mientras mayor sea el contenido de alúmina, se eleva notablemente la resistencia de la unidad de albañilería de arcilla.

Presenta un considerable contenido de óxido férrico, siendo este el colorante que le confiere al ladrillo su color rojo característico. Con una relación de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  superior al 0.33 se tendrá tonalidades rojizas de color vivo. Para este suelo la relación es de 0.40.

En referencia a los óxidos de calcio y magnesio, entre ambos no exceden al 3%, los cuales si son finamente molidos y mezclados con la arcilla no generarán inconvenientes, incrementando la resistencia a la deformación de la pieza cocida y reduciendo la contracción por cocción.

El contenido total de óxidos de potasio y sodio alcanza aproximadamente el 4%, siendo los principales fundentes indicadores de la temperatura de cocción en el horno, situando la temperatura de cocción para esta arcilla entre los 825 y 850°C. Sin embargo, un alto porcentaje en fundentes unido a una fina granulometría puede generar una rápida vitrificación de la pieza, aumentando su fragilidad al impacto.

Dentro del porcentaje denominado "Otros", se encuentran: Ba,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , Zn, etc; cuyos contenidos individuales son muy pequeños y no son indicativos importantes a considerar para la selección del suelo en función a su composición química.



*Figura 45: Suelo de Jancoca.*

#### 6.2.2.2. Suelo de Langui

El suelo empleado es una muestra de tierra limosa procedente del distrito de Langui de la provincia de Canas (Cusco).



Figura 46: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps

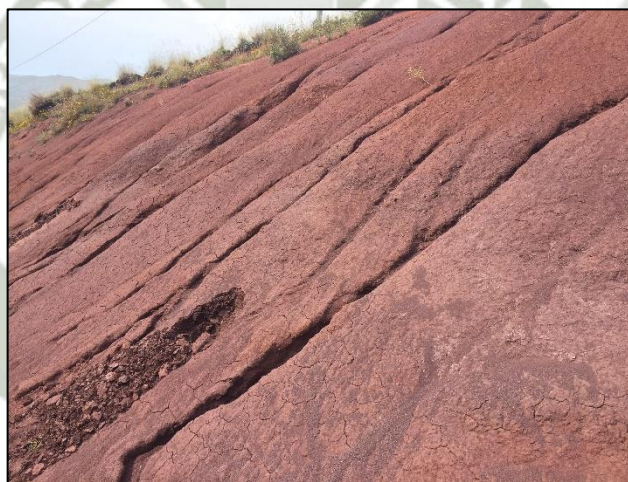


Figura 47: Suelo de la cantera de Langui.

El suelo está formado por terrones o trozos compactos y estratificados de color rojizo y marrón. Dado a la naturaleza de este suelo, fue necesario extraerlo con maquinaria cargador frontal en forma de grandes rocas.

Se realizó el análisis granulométrico por tamizado con lavado, pudiendo apreciar que entre las mallas #10 (2 mm) y la #200 (0.075 mm) se retiene cerca 50% del total de la muestra. Al igual que la muestra del suelo de Jancoca, se complementó con el análisis granulométrico por sedimentación, en donde el porcentaje de finos fue de 48.57%.

La gravedad específica del suelo es de 2.591 gr/cm<sup>3</sup>.

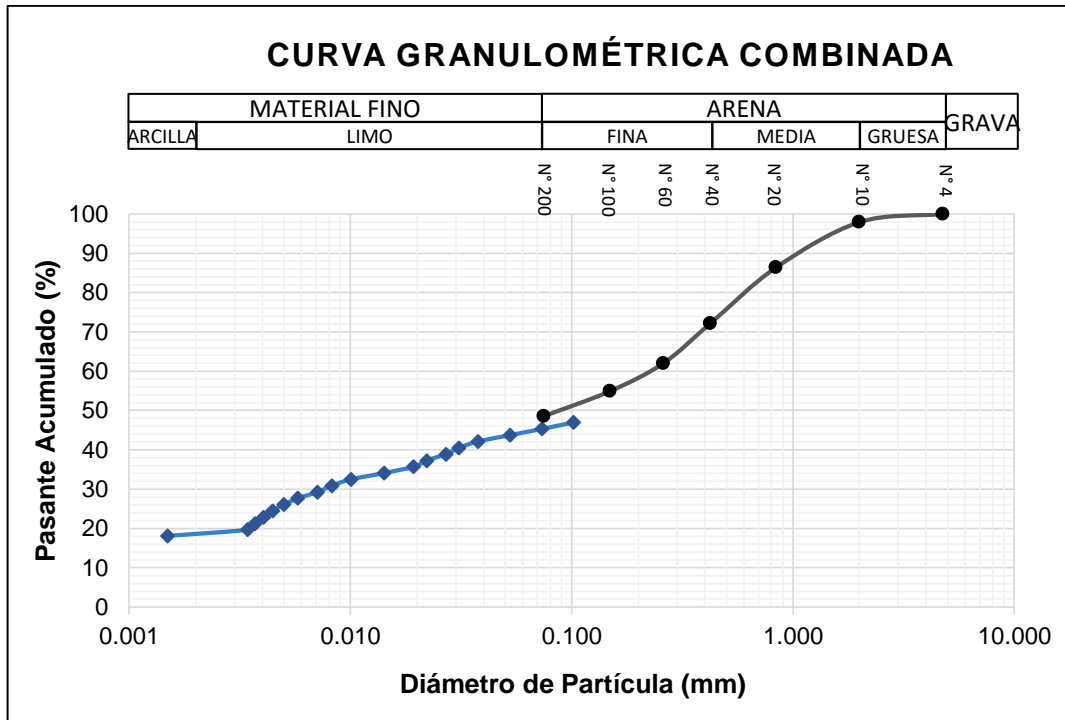


Gráfico 7: Curva Granulométrica Combinada.

En relación a su granulometría, podemos observar una menor cantidad de finos en relación al suelo de Jancoca, con un porcentaje de aproximadamente 10% menos de material más fino que la malla #200.

Realizando los límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

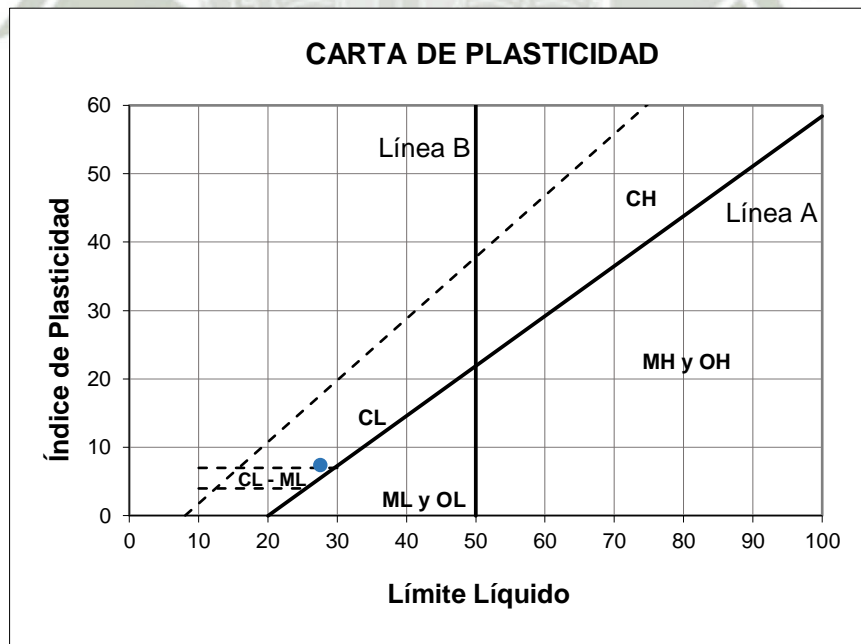


Gráfico 8: Carta de Casagrande del suelo de Langui.

- Limite Líquido LL de 27.70%
- Limite Plástico LP de 20.21%
- Índice de Plasticidad IP de 7.49%

Por tanto, según el sistema de clasificación de Casagrande, el suelo corresponde a la clase CL – ML, tratándose de un suelo arcilloso – limoso de baja plasticidad, encontrándose en el límite de esta clasificación.

En relación a su composición química se obtuvo:

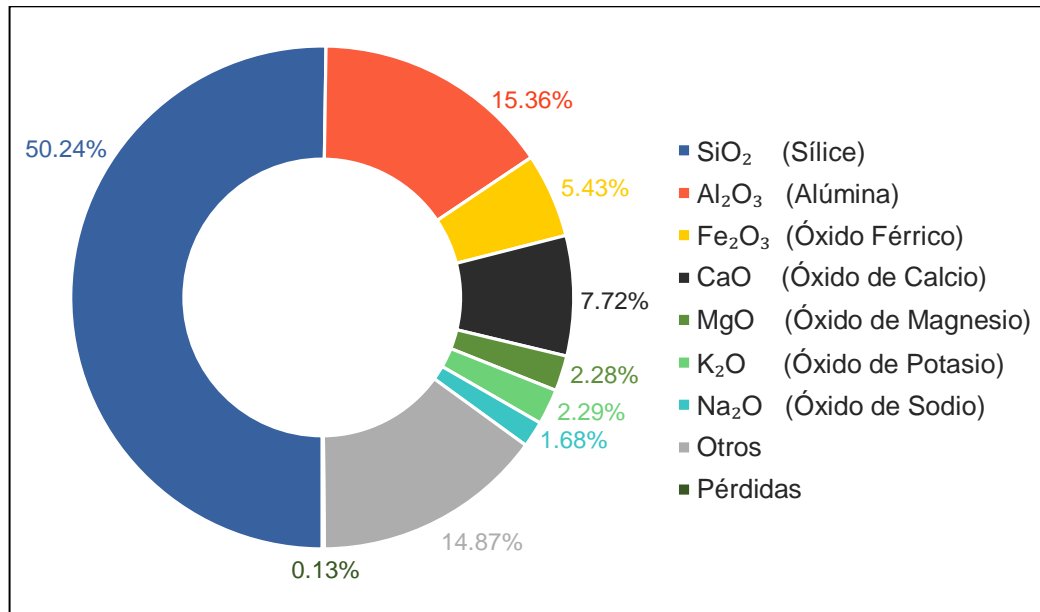


Gráfico 9: Composición química del suelo de Langui.

El gráfico 9 muestra los principales componentes del suelo, con un contenido de sílice del 50.24% y porcentaje de alúmina del 15.36%, ambos en proporciones recomendadas para la fabricación de ladrillos. La relación entre el óxido férrico y la alúmina es de 0.35, tendiéndose una tendencia de rojo vivo en la coloración de la unidad.

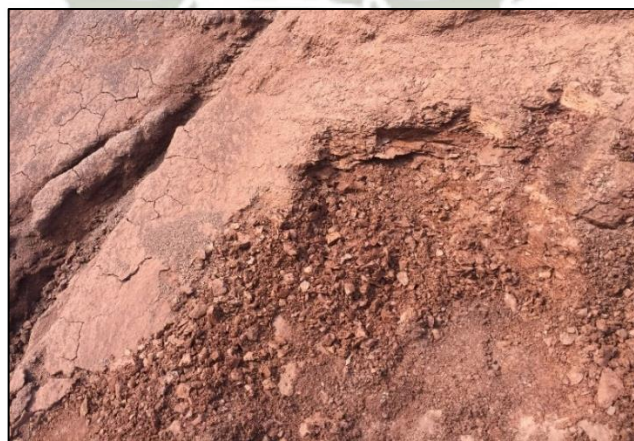


Figura 48: Suelo de Langui.

Sin embargo, debido al alto contenido de óxido de calcio, del orden de 7.72%, es importante realizar una fina molienda del suelo, pues puede suceder que solo una parte del CaO reaccione con la arcilla, quedando óxido de calcio libre en la pieza, dando lugar a la aparición de desconchamientos y caliche en la pieza, así como tonalidades más claras y amarillentas en la pieza.

#### 6.2.2.3. Suelo de Languilago

El suelo empleado es una muestra de tierra arcillosa procedente del distrito de Langui de la provincia de Canas (Cusco).



Figura 49: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps



Figura 50: Suelo de la cantera Languilago.

Está conformado por granos finos de color ocre y marrón. Este suelo, al estar muy próximo al lago de Langui, ha sido depositado en forma de granos muy finos fácilmente desmoronables. Su extracción también se realizó utilizando maquinaria pesada.

Para esta muestra de suelo se realizó el análisis granulométrico por tamizado con lavado y debido a que el 56.17% de la muestra correspondía al porcentaje de material fino pasante de la malla #200, se realizó también el análisis granulométrico por sedimentación por medio del hidrómetro.

La gravedad específica del suelo es de 2.541 gr/cm<sup>3</sup>.

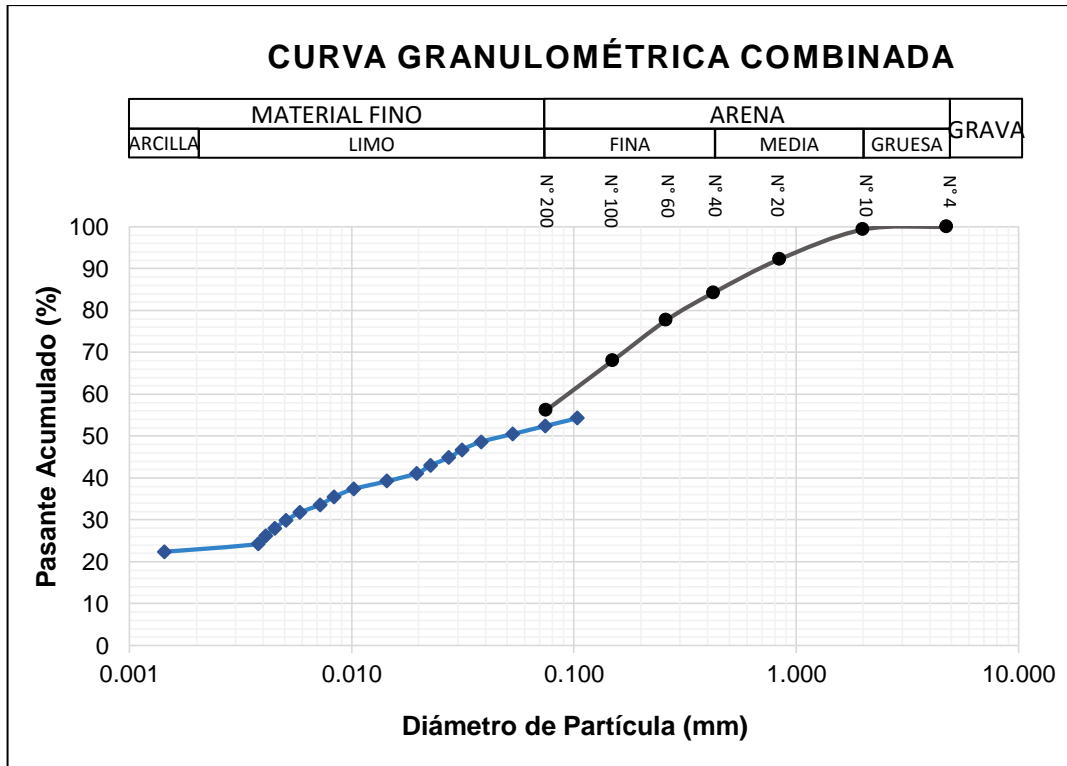


Gráfico 10: Curva Granulométrica Combinada.

Podemos observar que el 23.85% corresponde a la arcilla del total de la muestra (diámetro inferior a 0.002 mm), indicando que es un suelo con gran contenido de finos.

Realizando los límites de Atterberg se obtuvieron los siguientes resultados:

- Limite Líquido LL de 29.45%
- Limite Plástico LP de 19.77%
- Índice de Plasticidad IP de 9.68%

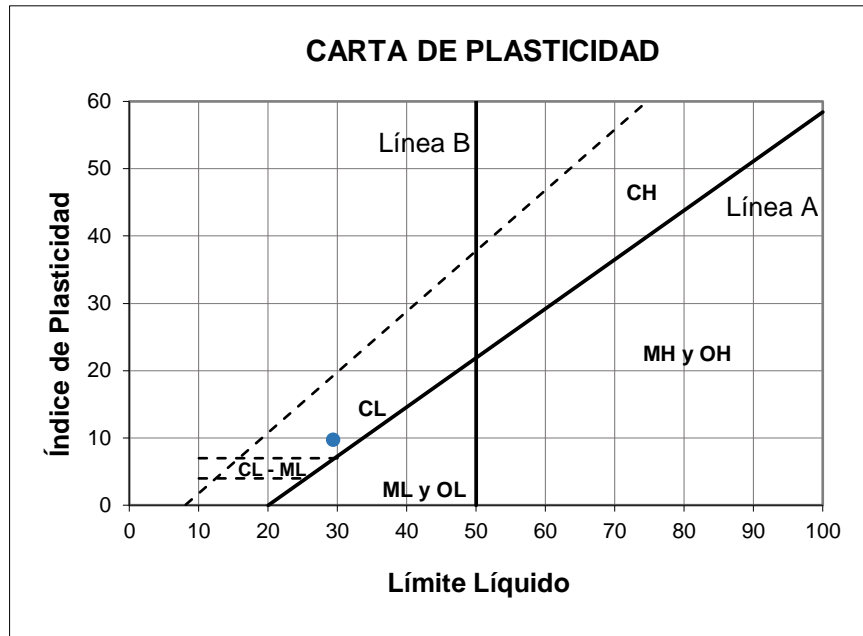


Gráfico 11: Carta de Casagrande del suelo de Languilago.

Por tanto, según el sistema de clasificación de Casagrande, el suelo corresponde a la clase CL. Se trata de un suelo arcilloso de baja plasticidad.

Los resultados obtenidos respecto a su composición química fueron:

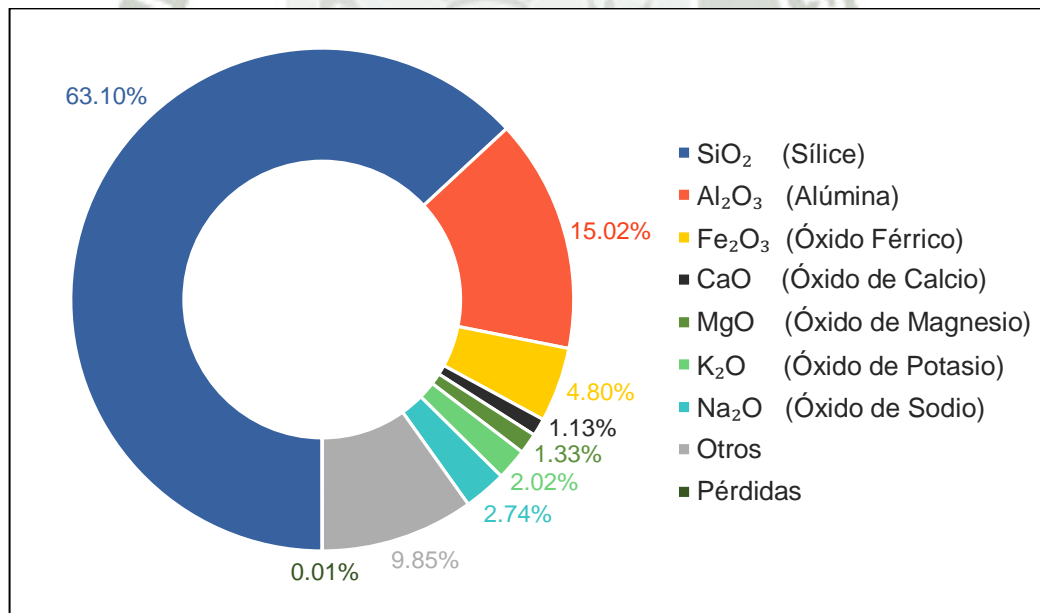


Gráfico 12: Composición química del suelo de Languilago.

En el gráfico 12 puede observarse el elevado contenido de sílice del 63.10% y un porcentaje de alúmina del 15.02%. Esta muestra de suelo mostró el menor contenido de óxido férrico de entre todas las muestras de suelo, y por ende la relación  $Fe_2O_3/Al_2O_3$

es de 0.32, la menor entre las tres muestras de arcilla, generando tonalidades de tendencia rojo normal.



Figura 51: Suelo de Languilago.

La concentración de óxido de calcio y magnesio en conjunto no suma más del 2.5%, considerándose una arcilla pobre en cal ya que está por debajo del 8%. Esta muestra de suelo posee el mayor contenido de óxido de sodio de entre todas, con un valor de 2.74% y un porcentaje de 2.02% para el óxido de potasio, indicando que la temperatura de cocción se sitúa entre los 825 y 850°C. Debido al alto contenido de  $K_2O$  y  $Na_2O$  se aumenta la dilatación por humedad de las piezas cocidas, facilitando la permeabilidad y la hidratación debido a los espacios vacíos en el vidrio, y si se tiene una gran finura granulométrica, se aumenta la fragilidad al impacto.

### 6.3. Composición de la mezcla de suelo

Para la selección del suelo a utilizar, se consideraron los siguientes aspectos:

- Porcentaje de finos pasantes la malla #200
- Índice de Plasticidad
- Diagrama de Winkler
- Composición química

La distribución del tamaño de grano de las materias primas arcillosas (tabla 8) muestra que predominan la fracción limo – arenosa ( $>0.02$  mm) en todos los suelos. La fracción de arcilla ( $<0.002$  mm) es mayor en Jancoca, con un porcentaje del 23.10%, seguida de Languilago y finalmente Langui con 18.50%.

GRANULOMETRÍA			
Ø	Jancoca	Langui	Languilago
$<0.002$ mm	23.10	18.50	22.90
0.002-0.02 mm	20.90	17.50	18.20
$>0.02$ mm	56.00	64.00	58.90

Tabla 8: Distribución del tamaño del grano de las muestras de suelo.

Si representamos las fracciones granulométricas en el diagrama de Winkler (gráfico 14), se observa que tanto la muestra de suelo de Jancoca como de Languilago se sitúan en la zona D, por lo que presentan una granulometría adecuada para el moldeo por extrusión de piezas sólidas y semihuecas. Mientras que el suelo de Langui se sitúa en el límite entre la zona D y el campo fuera de la aplicación cerámica, debido a su elevado contenido en fracción  $>0.02$  mm.

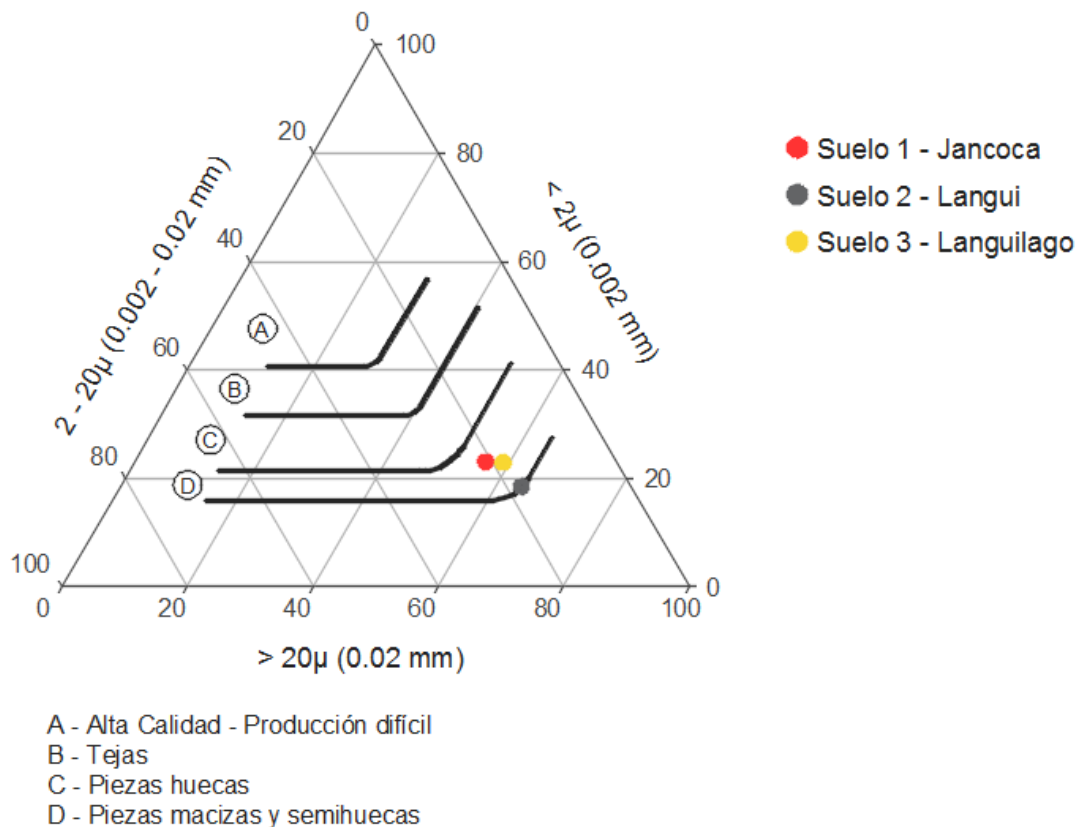


Gráfico 13: Diagrama de Winkler.

Los ensayos de plasticidad de las muestras (tabla 9 y gráfico 14), muestran que el suelo de Langui presenta un IP muy bajo ( $IP = 7.39$ ), resultando problemático su uso para la elaboración de unidades de arcilla extruidas, ya que resulta difícil mantener la humedad de extrusión. Por otro lado, el suelo de Jancoca mostró un IP adecuado para la extrusión ( $IP = 16.58$ ), sin embargo, será necesario mezclarlo con otro suelo ya que, debido al valor que posee, demandará más agua para la extrusión y en consecuencia un mayor tiempo de secado de la unidad.

PLASTICIDAD			
	Jancoca	Langui	Languilago
LL	31.80	27.60	29.45
LP	15.22	20.21	19.77
IP	16.58	7.39	9.68

Tabla 9: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

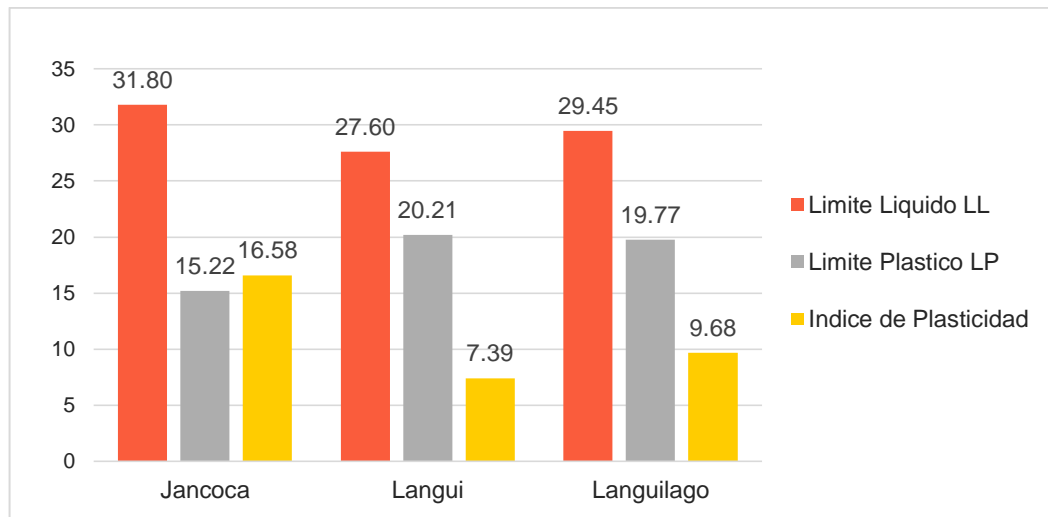


Gráfico 14: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

En el gráfico 15 se muestran los principales componentes químicos de cada uno de los suelos, en donde el suelo de Jancoca destaca por tener el mayor contenido de sílice en su composición, con un porcentaje del 66.44%, seguido por Languilago con 63.10% y finalmente Langui con 50.24%. Si bien un alto contenido de sílice reduce la contracción durante el secado, es el componente que reduce la resistencia de la unidad.

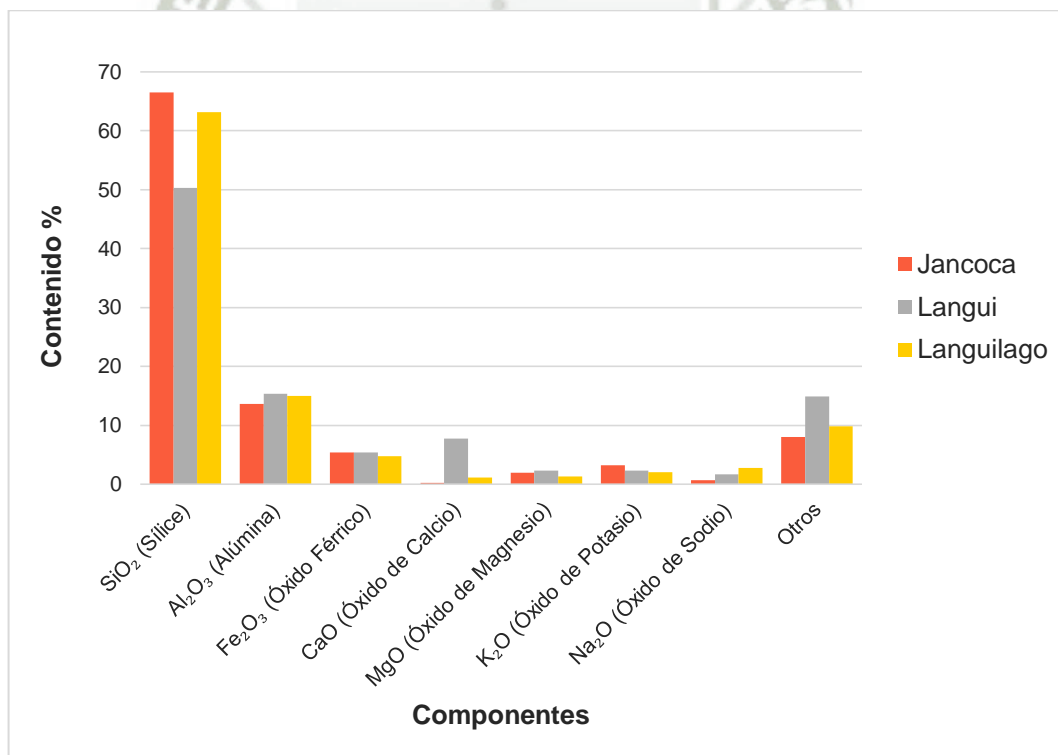


Gráfico 15: Composición química de las muestras de suelo.

Es por ello importante resaltar que difícilmente una sola materia prima proporcionará la mejor calidad y estructura interna, precisando así que se realice una mezcla de suelos a fin de obtener las mejores características para la masa empleada en la extrusión.

En relación al porcentaje de alúmina en los suelos, el principal indicador de la plasticidad y de la resistencia, se observa que el suelo de Langui es el mayor de entre los tres, con un valor de 15.36%. Sin embargo, es también el suelo que mayor óxido de calcio contiene, superando ampliamente a los otros dos tal como se muestra en el gráfico 16.

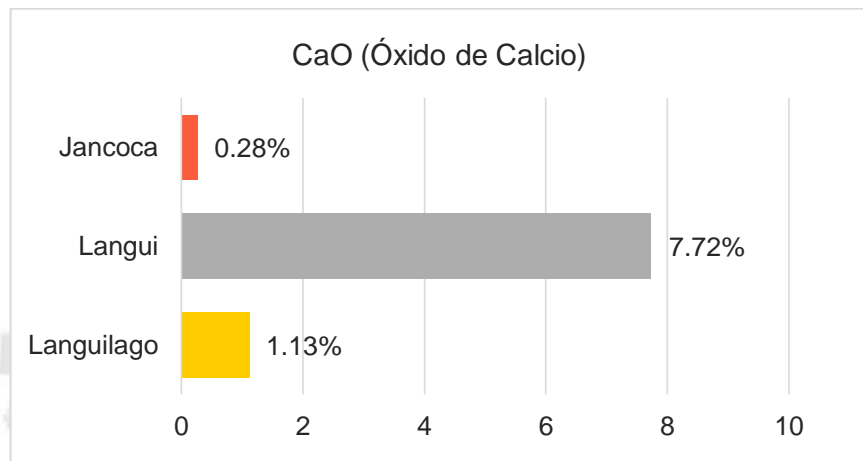


Gráfico 16: Contenido de óxido de calcio en las muestras de suelo.

Un alto contenido de óxido de calcio generara tonalidades claras en la unidad cocida, y supone un grave problema en cuanto a la formación de desconchamientos y aparición de eflorescencias, razón por la cual se decidió no emplear este suelo para la elaboración de las unidades de arcilla.

A continuación del suelo de Langui, el de Languilago es el que mayor contenido de óxido de calcio presenta (1.13%), valor 4 veces superior al de Jancoca. Este fue uno de los aspectos que se consideró para incluir un menor porcentaje del suelo de Languilago en la dosificación de la mezcla en relación al de Jancoca.

El porcentaje de óxido de magnesio en las muestras de Jancoca, Langui y Languilago fue de 1.92, 2.28 y 1.33% respectivamente, valores considerados altos (superior al 1%) que pueden generar eflorescencias durante la quema si es que no se someten a una molienda fina.

En referencia al óxido férrico, el suelo de Jancoca contiene un 5.44% de este componente en la muestra, mientras que el de Languilago 4.80%. La relación  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  para el primero es de 0.40, indicando que se obtendrá una tonalidad roja viva luego que la unidad sea sometida a cocción y, la del segundo suelo, es de 0.32, valor bajo que generará tonalidades rojo claro.

El contenido total de óxidos de sodio y potasio es mayor en el suelo de Languilago, con un porcentaje total de 4.76%. La alta proporción de estos óxidos (mayor a 4%) hace posible que se genere temperaturas de cocción relativamente bajas, acelerando el

proceso de vitrificación en la pieza y por ende incrementando una de las propiedades más importantes de la unidad de albañilería: la resistencia.

Como resulta evidente, el análisis global de todos los ensayos realizados pone de manifiesto la aptitud de las materias primas para su empleo en el moldeo por extrusión, en donde la mezcla de materias primas modifican convenientemente los parámetros necesarios (granulometría, plasticidad y composición química) para obtener productos de calidad.

En función a lo anterior y en acuerdo con la empresa ladrillera Ouro Vermelho Perú, se concertó utilizar una dosificación de materia prima para la mezcla de: 80% Jancoca + 20% Languilago. No se incluyó el suelo de Languilago por el alto contenido de óxido de calcio en su composición.

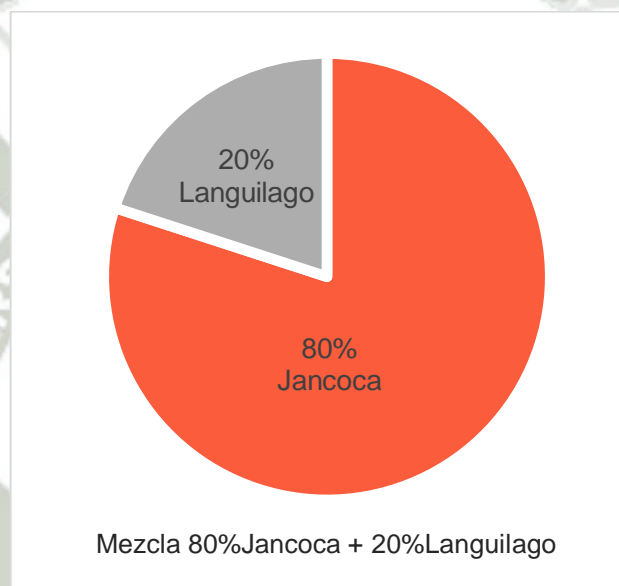


Gráfico 17: Porcentajes de suelo en la composición de la masa arcillosa.

Se consideró emplear un mayor contenido del suelo de Jancoca en función al de Languilago principalmente por dos razones:

- El índice de plasticidad del suelo de Jancoca se encuentra dentro del rango permitido para el moldeo por extrusión ( $IP = 16.58$ ), no siendo así el del suelo de Languilago ( $IP = 9.68$ ), el cual se encuentra por debajo de las recomendación dada en cuanto al IP para su utilización en la industria ladrillera. (Gráfico 18)

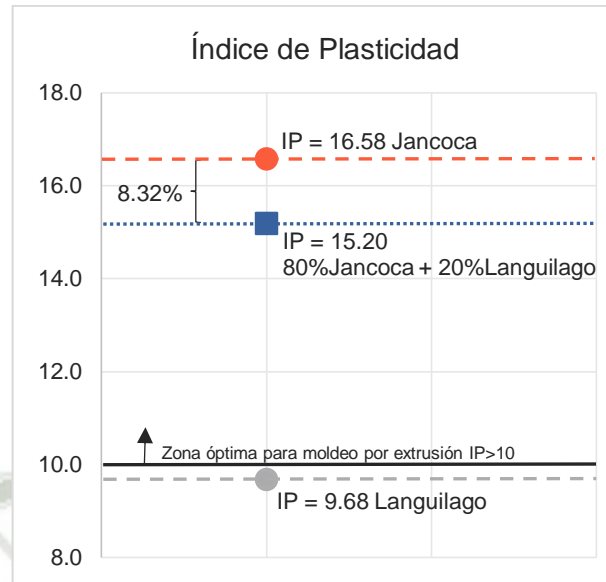


Gráfico 18: Índice de plasticidad del suelo de Jancoca, Languilago y de la composición de ambos.

La inclusión del 20% de Languilago trae consigo una reducción del IP de la mezcla en comparación al IP de Jancoca, del 8.32%.

- El contenido de óxido de calcio en el suelo de Languilago es significativamente mayor al de Jancoca ( $1.13\% > 0.28\%$ ). Este aspecto limitó un mayor contenido del suelo de Languilago en la mezcla, puesto que si se incluía un mayor porcentaje se corría el riesgo de generarse desconchamientos, caliche y eflorescencias en las piezas cocidas, reduciendo la calidad del producto final. Esta mezcla incrementó el contenido de óxido de calcio en 0.17% del total de la muestra, obteniéndose una proporción de 0.45% como se muestra en el gráfico 19.

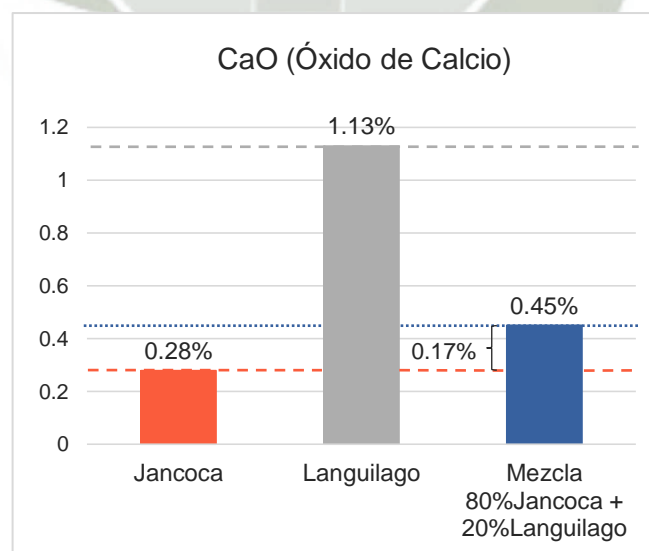


Gráfico 19: Contenido de óxido de calcio de la composición de los suelos.

La adición de un 20% del suelo de Languilago por una parte corrige la granulometría en la muestra de Jancoca, reduciendo su IP de 16.58 a 15.20, valor conveniente para el moldeo por extrusión y facilitación del secado de las unidades. Además, al tener el suelo de Languilago una mayor proporción de fracciones gruesas, reducirá la contracción por secado y por cocción de las unidades, sin alterar significativamente su granulometría, manteniéndose en el intervalo adecuado para su empleo en la elaboración de unidades por extrusión. (Gráfico 20)

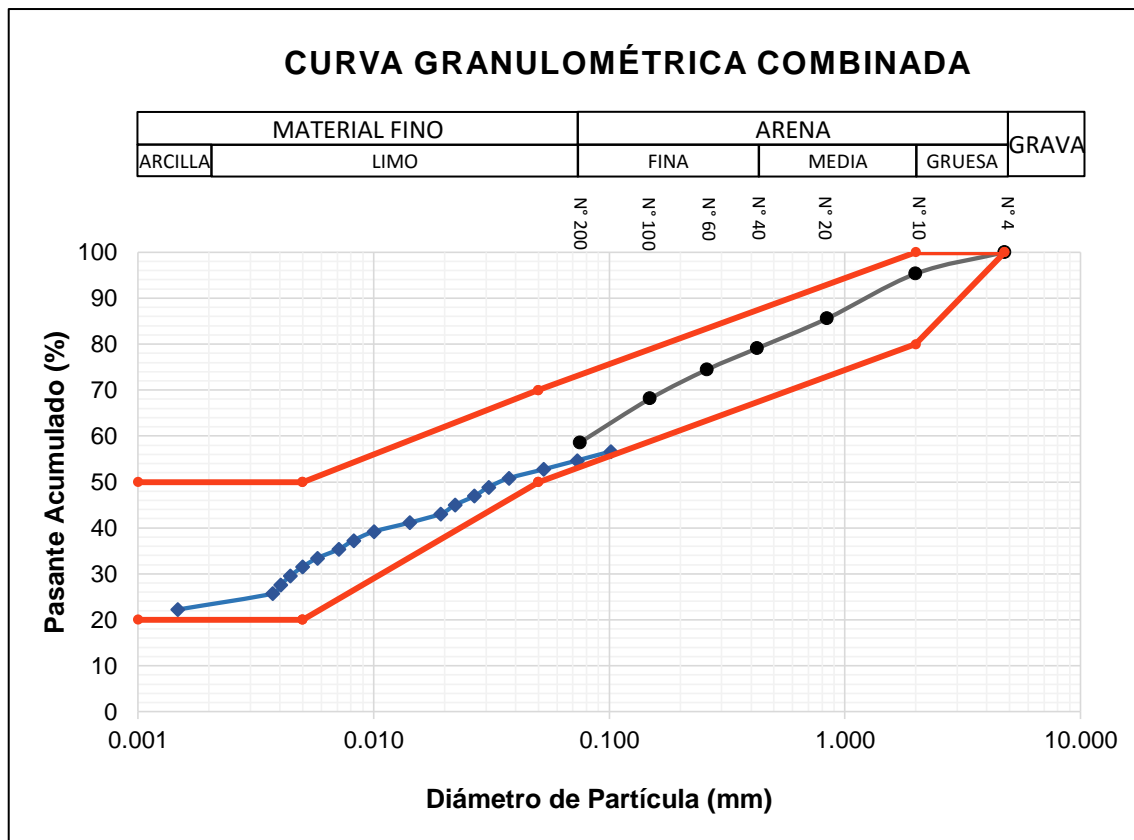


Gráfico 20: Curva granulométrica combinada de la masa arcillosa.

A su vez, esta adición no modifica su clasificación en el Diagrama de Winkler, ubicado en la zona D, intervalo en donde se permite la producción de unidades macizas y semihuecas como se observa en el gráfico 21.

GRANULOMETRÍA	
Ø	Mezcla
<0.002 mm	23.4
0.002 - 0.02 mm	20.1
>0.02 mm	56.50

Tabla 10: Porcentaje del tamaño de grano en la masa arcillosa.

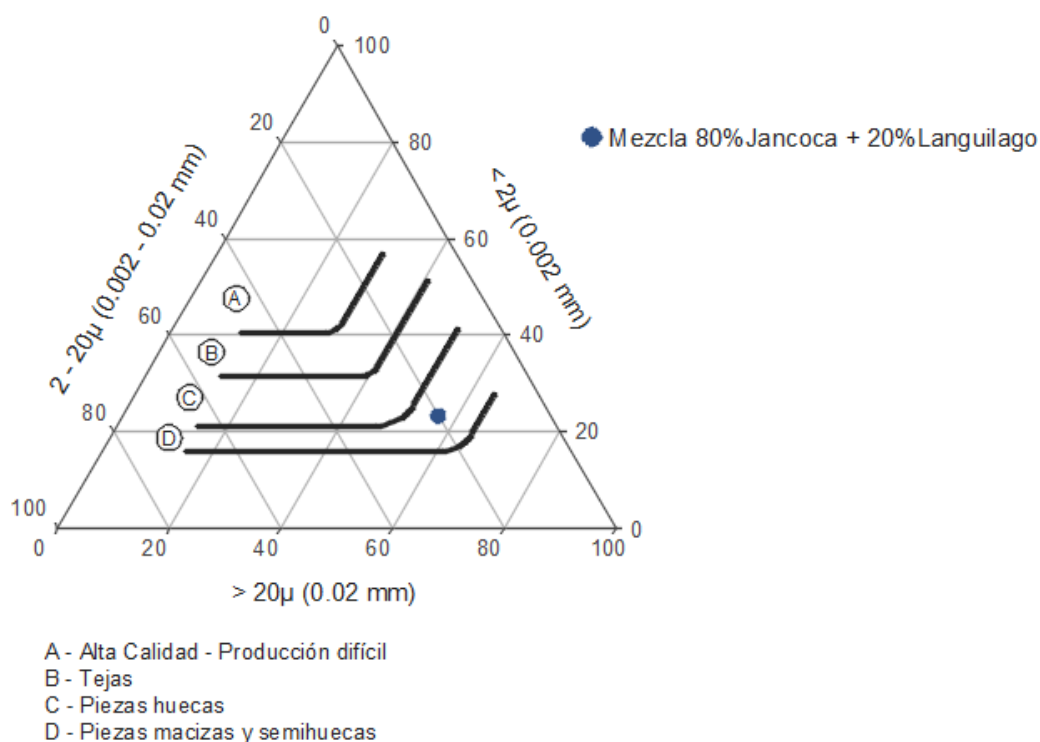


Gráfico 21: Diagrama de Winkler de la masa arcillosa.

En cuanto a la composición química, el suelo de Jancoca es el que menor contenido de alúmina presentó. La adición del 20% del suelo de Languilago incrementó su porcentaje en alúmina a 13.90%. Esta adición también aumentó su proporción de óxido de sodio de 0.68% a 1.09%, que se reflejará en un incremento de la resistencia de la unidad. La nueva composición de la mezcla se muestra en la tabla 11 y en el gráfico 22.

ELEMENTO	CONTENIDO
SiO <sub>2</sub> (Sílice)	65.77%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alúmina)	13.90%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido Férrico)	5.31%
CaO (Óxido de Calcio)	0.45%
MgO (Óxido de Magnesio)	1.80%
K <sub>2</sub> O (Óxido de Potasio)	3.00%
Na <sub>2</sub> O (Óxido de Sodio)	1.09%
Otros	8.38%
Pérdidas	0.30%
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>

Tabla 11: Composición química de la masa arcillosa.

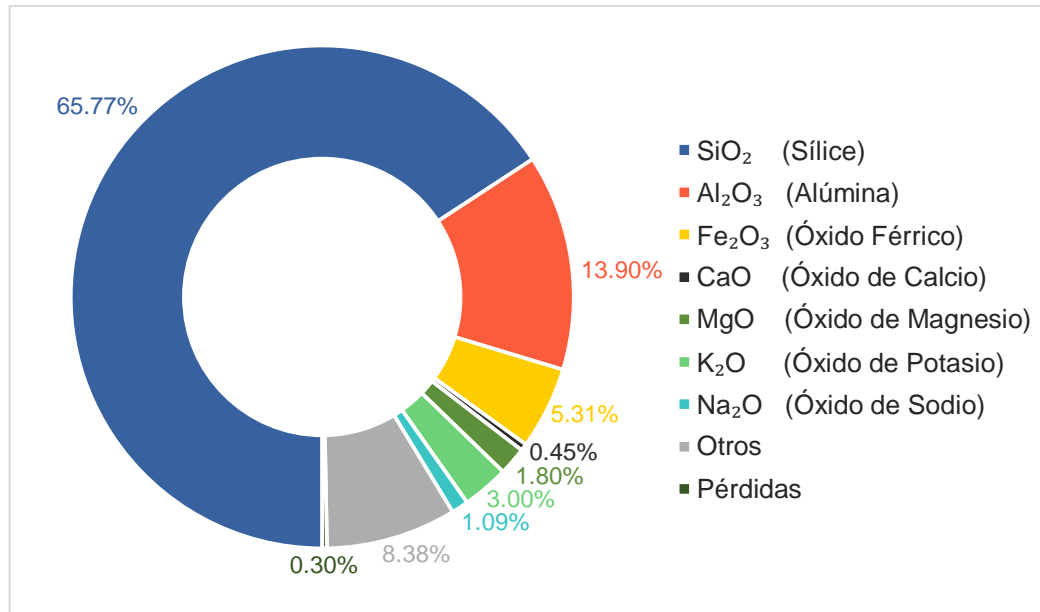


Gráfico 22: Composición química de la masa arcillosa.

En función al diseño de mezcla con la proporción 80%Jancoca + 20%Languilago para la materia prima, se elaborarán las unidades de albañilería, regulando la humedad de moldeo en la extrusora a través del durómetro.

#### 6.4. Dosificación de perlitas de poliestireno expandido en la materia prima

Teniendo en cuenta el producto que se propone, a partir del diseño de boquilla seleccionado y la composición de la mezcla para la materia prima, en este caso arcilla, se decidió el empleo de 4 dosificaciones diferentes de perlitas de poliestireno en la composición de la masa para obtener el bloque de termoarcilla.

Conforme se fueron elaborando los bloques, se estableció las dosificaciones para el poliestireno y la materia prima, en donde la tendencia fue aumentar progresivamente la proporción de perlitas de poliestireno, sin exceder el 12% del volumen total de la unidad, ya que al sobrepasar este porcentaje, las unidades extruidas presentaban desconchamientos y pequeñas fisuras en su superficie, indicativo que se tendría una mayor variación dimensional luego del secado y cocción, y a su vez, la porosidad añadida reduciría la resistencia y calidad del producto final.

Las perlitas de poliestireno se adicionaron directamente en la extrusora, midiendo su volumen en una pequeña caja acondicionada para medir exactamente el volumen adicionado en cm<sup>3</sup> por unidad recién extruida.

El volumen de poliestireno adicionado a la masa para cada uno de los 4 diseños se muestra a continuación:

	Nomenclatura	Poliestireno adicionado (cm <sup>3</sup> )	% en Volumen de Poliestireno	% en Volumen de Materia prima
Diseño 0	BD0	0.00	0.00	100.00
Diseño 1	BD1	100.00	2.20	97.80
Diseño 2	BD2	250.00	5.50	94.50
Diseño 3	BD3	500.00	11.00	89.00

Tabla 12: Diseños de bloque de termoarcilla en función al poliestireno adicionado en la materia prima.

Es importante resaltar que el poliestireno adicionado no causa ninguna expansión en el interior del ladrillo ni modifica sus propiedades, por tanto, a diferencia de la unidad de albañilería, la cual experimenta una contracción durante el secado y cocción, el porcentaje de volumen incluido en la elaboración de la unidad en crudo se mantendrá igual después que la unidad está cocida.

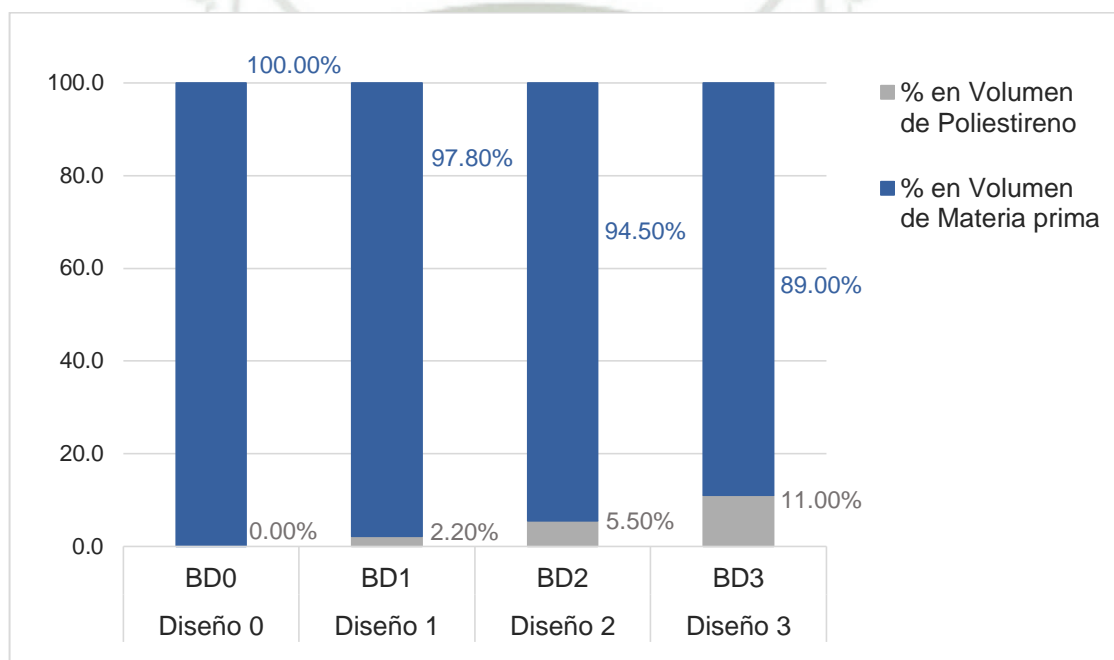


Gráfico 23: Porcentajes en volumen de poliestireno y materia prima para cada diseño.

De entre las dosificaciones realizadas, se seleccionará aquella que proporcione los mejores resultados y brinde las mejores características a la unidad de albañilería, datos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio a unidades de albañilería.

Luego de realizar los ensayos correspondientes a las unidades de arcilla y seleccionar el diseño definitivo, se realizó una producción de ladrillos en cantidad para realizar los ensayos de laboratorio de prismas de albañilería y ensayo térmicos según los protocolos normalizados para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas.

## CAPÍTULO VII: FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

El proceso de fabricación de las unidades de arcilla se realiza en varias etapas importantes que deben ser controladas, puesto que determinarán la calidad final del producto:

1. Extracción y descanso de la materia prima
2. Preparación de la materia prima
3. Producción
4. Secado
5. Cocción
6. Empaquetado

Para los objetivos de esta tesis, tanto el proceso inicial referente a la selección de la materia prima y su dosificación como la fase que compromete al moldeo y corte de las unidades son las que fijan los límites de diseño, debido a las restricciones propias de los procesos de fabricación y, por otro lado, abren las posibilidades de incorporar innovaciones morfológicas para el diseño del bloque de termoarcilla.

El gráfico 24 muestra un esquema del proceso de fabricación de las unidades de arcilla.

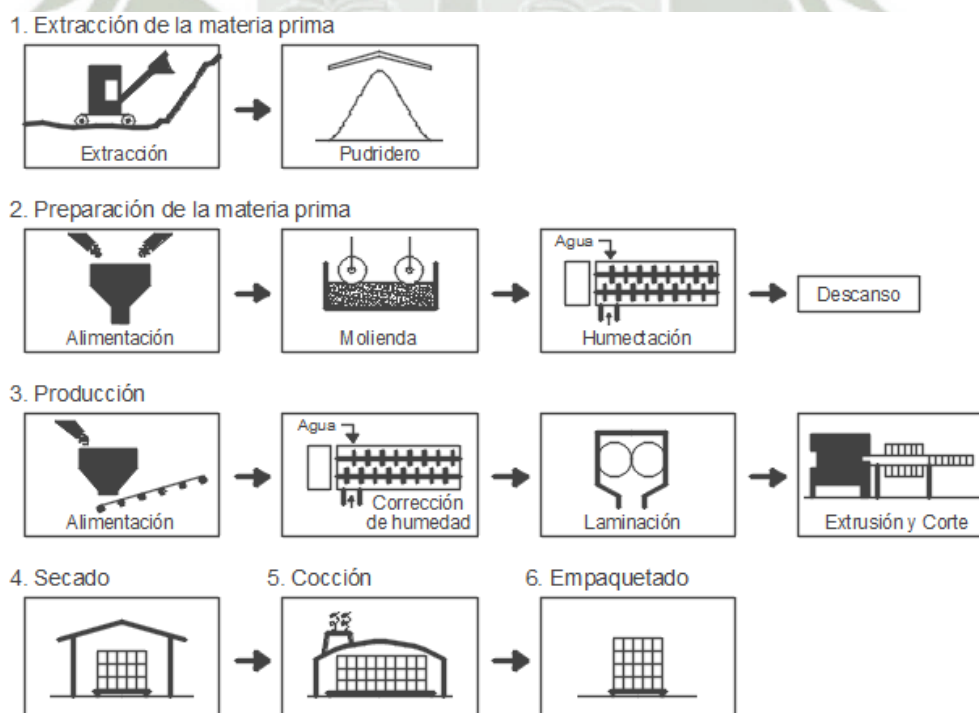


Gráfico 24: Proceso de fabricación de las unidades de arcilla.

## 7.1. Extracción de la materia prima

Luego del descubrimiento del yacimiento que contiene la arcilla con las características apropiadas, inicialmente se elimina la capa superficial del mismo, que frecuentemente es vegetación y por tanto contiene sustancias orgánicas no deseadas.

Para la excavación se utiliza diferente maquinaria según la condición y el tipo de suelo que tiene el yacimiento, utilizándose comúnmente cargadores frontales.

Una vez extraído el material, es acopiado y se deja almacenado aproximadamente durante dos meses en depósitos o pudrideros, donde son expuestos a las condiciones ambientales. Durante este intervalo de tiempo, se realiza la descomposición de las sales solubles y materias orgánicas, elevándose la temperatura del lecho y aumentando la movilidad del agua, proporcionando una mejor calidad física a las arcillas.

Además, se produce también un proceso de fermentación con la intervención de microorganismos, cuyas secreciones modifican ciertas propiedades fisicoquímicas de la mezcla arcilla – agua. Estas bacterias pueden provocar la alteración de los minerales de la arcilla, incrementando la plasticidad y resistencia a las tensiones de secado.

## 7.2. Preparación de la materia prima

La preparación de la materia prima consiste en varias operaciones entre sí, que tienen como finalidad llevar a las materias primas a un estado final después de la excavación de las mismas, en donde se alcance simultáneamente:

- Uniformidad en la composición mineralógica y química en la materia prima.
- Subdivisión de los componentes en partes más pequeñas, para que durante la mezcla se tenga homogeneidad también con las granulometrías más finas.

Es importante resaltar que la calidad de un producto cerámico depende del grado de preparación de la materia prima utilizada en su elaboración.

### 3.1.1. Alimentación de la materia prima

En esta etapa se utiliza un cajón alimentador, el cual es una máquina encargada de la alimentación constante de la materia prima. Este cajón deja caer poco a poco los terrones de arcilla en una cinta transportadora que las introducirá a la siguiente etapa, donde la cantidad de materia de prima a alimentar está regulada por la velocidad de la cinta del cajón alimentador y la posición de la compuerta de la guillotina.

Los cajones alimentadores permiten obtener:

- Constancia en la alimentación: significa un aprovechamiento racional de todas las máquinas de una cadena, y una producción lo más alta posible sin atascos ni paradas.

- Mezclas de diversos materiales arcillosos: cuando se requiere mezclar el material arcilloso con adiciones de otros elementos a diferentes dosificaciones.

Una importante función del cajón alimentador durante los procesos es que permite el funcionamiento independiente de las máquinas que trabajan en el inicio del proceso con las que lo hacen al final, funcionando como un pulmón en el caso de paradas de alguna de ellas.

Es por ello que, la ubicación del cajón alimentador suele estar tanto a la entrada de la planta de la materia prima, antes del inicio del proceso de producción y entre grupos de máquinas que se quieran mantener independientes.

### 3.1.2. Molienda

La molienda permite la reducción de las dimensiones de los materiales arcillosos, y a algunas de estas se les encomienda acciones secundarias como la eliminación de eventuales impurezas (piedras grandes, caliche, madera, raíces, etc.).

Las materias primas son llevadas desde el cajón alimentador al molino por medio de fajas transportadoras. Este sistema de molienda se realiza en materiales duros, donde la molturación o pulverización debe realizarse con el molino de impacto, y donde la presencia de humedad mayor a 9% puede generar aglomeraciones y atascos, por ello deben tratarse como preelaboración en seco, la cual producirá polvos de granulometría fina.

Dicho material pulverizado pasa a través de una zaranda con malla de 1/8", ya que la materia prima debe tener una granulometría inferior a 2 mm para que pueda emplearse en la fabricación de unidades cerámicas. Aquel material que no pase a través de la malla indicada, es llevado mediante una faja transportadora hacia un molino de martillos, el cual se encarga de reducir aún más la granulometría del material hasta lograr el tamaño deseado y retornando de nuevo a la zaranda, de lo contrario es rechazado, volviendo nuevamente al molino de martillos.

El material, ya con una granulometría más fina y consistencia homogénea deseada cae a una cinta transportadora, la cual lo conduce a la siguiente etapa de humectación.

### 3.1.3. Humectación

Para la humectación de la arcilla, se tiene una maquina mezcladora en donde se añade una cantidad de agua distribuida homogéneamente que brinde un 24% de humedad a la materia prima, la cual permanecerá en reposo entre 24 a 48 horas, tiempo necesario para que el material arcilloso se humecte y se produzca un equilibrio de cargas.

## 7.3. Producción de las unidades de albañilería

Al iniciar la etapa de producción, se emplea un cajón alimentador en el cual se vierte el material que ha permanecido en reposo luego de su humectación.

### 3.1.1. Corrección de humedad

El material proveniente del cajón alimentador llega a través de una faja transportadora a una mezcladora, la cual es una amasadora abierta constituida por dos ejes con árbol de palas inclinadas, los cuales giran en sentidos opuestos, provocando el avance de la pasta y la mezcla de las arcillas y el agua que intervienen en la composición.

Para alcanzar la consistencia y plasticidad necesaria de la masa, se añade una cantidad de agua a fin de corregir la humedad de extrusión (24%), cantidad que se distribuye homogéneamente mediante boquillas rociadoras en la masa en movimiento.

### 3.1.2. Laminación

El laminador es un equipamiento que sirve para laminar la masa y direccionar las partículas, en donde la masa sufre un tipo de estiramiento en función a la diferencia de rotaciones producidas por dos cilindros que componen el laminador.

La abertura entre los cilindros también es importante, no debiendo ser superior a la mitad del espesor de las paredes internas de la geometría de la unidad o 3 mm, ya que cuanto más cerrado esté la abertura entre los cilindros, se tendrá un mayor direccionamiento y una mejor calidad del producto.

### 3.1.3. Extrusión

Para obtener productos cerámicos extruidos, es imprescindible que la arcilla tenga la plasticidad suficiente para permitir su paso a través de un molde y no presente problemas durante el proceso de extrusión.

La primera condición para lograr buenos resultados en la extrusión es que el material presente las mínimas variaciones, tanto en su composición como en su grado de preparación (granulometría más o menos fina) y su contenido de humedad. En este caso inicialmente se reguló la boquilla con el amperaje del motor principal entre 100 a 110 A en una tensión de 380 V. La humedad de extrusión con que se trabajó fue de 25%, con una presión 12 kg/cm<sup>2</sup> registrado en el durómetro.

La segunda condición, está referida a la extrusora en sí misma. La extrusora empleada es de la marca Souza y cuenta con doble cámara de vacío. Esta extrusora tiene una primera zona de entrada por donde se alimenta la materia prima y las esferas de poliestireno expandido empleadas en esta investigación. El material cae a un primer caracol de extrusión que lo lleva contra una rejilla, cayendo a la primera cámara de vacío en donde se extrae el aire de la masa. Luego, el material es empujado por medio de unos embudidores hacia el segundo caracol de extrusión, en donde se extrae nuevamente el aire por su parte posterior a través de la segunda cámara de vacío.

El realizar la extrusión de las unidades en una maquinaria con doble cámara de vacío es importante para la compactación de las partículas y efectiva eliminación de aire, ya que mejorará la calidad del producto así como en su resistencia y acabado a diferencia de las maquinarias con un solo punto de extracción de vacío. (Figura 52)

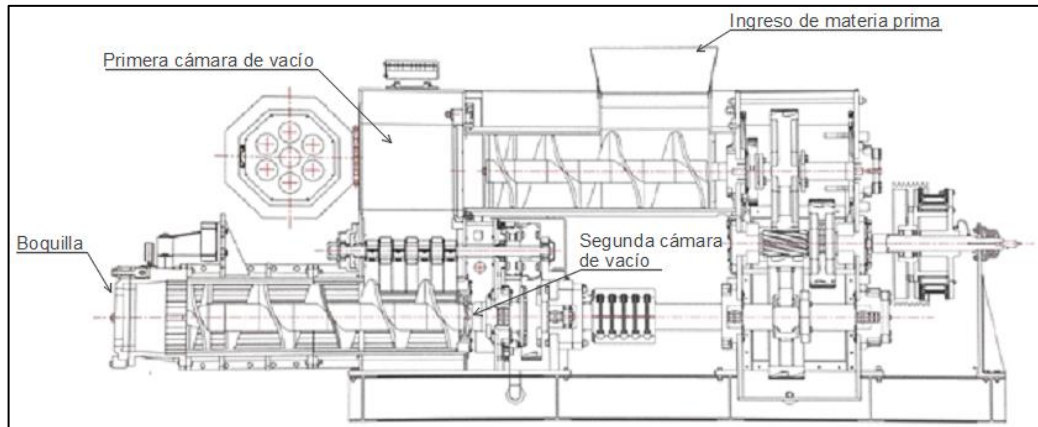


Figura 52: Esquema de extrusora Souza con doble cámara de vacío. Fuente Metalúrgica Souza

Es necesario lograr un buen vacío en la masa puesto que el efecto del aire se manifiesta en el incremento de la porosidad y en una menor homogeneidad de la pasta, reduciendo la plasticidad, la resistencia mecánica de las piezas y formando laminaciones en la superficie de las mismas.



Figura 53: Bloque de termoarcilla recién extruido.

Por último, la masa es empujada por el segundo caracol a través del cilindro de la extrusora, compactando el material progresivamente hasta finalmente comprimir la masa contra la boquilla, la cual sale en forma de una columna de masa continua con la configuración geométrica dada por el formato del molde en su sección transversal.

Debe tenerse en cuenta que las unidades al secarse tendrán una contracción del 6% de sus medidas, y consecuentemente a ello, las unidades deben realizarse en una boquilla con dimensiones mayores a las deseadas por el efecto de la contracción en el secado y en la quema.

### 3.1.4. Corte

El sistema de corte es el último proceso realizado para la conformación de la pieza en húmedo. Este proceso determina la tercera dimensión del bloque correspondiente a la altura de la unidad.

Luego que la pasta sale de la boquilla de manera continua, es cortada en forma de piezas según la medida asignada en el sistema de corte, el cual consta de 4 alambres acerados cuya distancia entre sí determinará la altura de la unidad. Es imprescindible que la cortadora esté totalmente nivelada, así las torsiones y deformaciones serán evitadas y se logrará un corte preciso.

## 7.4. Secado

El proceso de secado es una de las fases más delicadas durante el proceso de fabricación. En este proceso se elimina por evaporación el contenido de agua empleado en el moldeo.

El medio adoptado para el secado de las unidades es por calentamiento natural, exponiendo las piezas a temperatura ambiente con presencia del movimiento natural del aire, el cual ventila el producto y proporciona el calor necesario para la evaporación. Para realizar este secado, debe evitarse una gran ventilación inicial ya que esto puede generar una demora en el proceso de secado, pues la ventilación inmediata puede cerrar los poros superficiales dificultando la salida del agua del interior de la pieza. Además, debe procurarse orientar las perforaciones en sentido del viento, para lograr un secado uniforme en toda la pieza.



*Figura 54: Bloques de termoarcilla durante el secado.*

Durante el proceso de secado, el agua fluye desde el interior de la pieza hacia la superficie ventilada, formándose diversas zonas de niveles de humedad, denominado gradiente de humedad. Cuanto mayor es el gradiente, mayores son las diferencias de

contracción entre dos puntos, provocando tensiones de compresión por el lado más húmedo y de tracción por el lado más seco, que pueden generar fisuras.

Es por ello que, el tiempo y velocidad de secado depende tanto del espesor como de la superficie expuesta de la pieza para que se alcance la humedad crítica en todos los puntos a la vez en la misma pieza, humedad ocurrida luego de un régimen de secado constante y contracción completa, ya que luego de este punto el régimen de evaporación empieza a decrecer con el tiempo, produciéndose poca o ninguna contracción.

## 7.5. Cocción

La etapa central en el proceso de fabricación es la quema, en donde la unidad atraviesa diversas etapas de deshidratación, oxidación y vitrificación; pero además de ello, es la etapa en donde se manifiestan gran número de defectos provenientes de las etapas anteriores de la producción, como la preparación de la masa, extrusión de las piezas, secado, arreglos para la quema, etc.

El objetivo de la quema es que debido a la acción del calor, ocurran ciertas reacciones y transformaciones físicas y químicas en los componentes de la masa, para obtener el producto deseado. El factor temperatura/tiempo es muy importante para provocar las reacciones y la atmósfera adecuada en el horno, que influenciará en el resultado final.

Debe considerarse los siguientes aspectos:

- La modalidad de encañe de las unidades en el horno, para conseguir la mejor uniformidad de exposición de los gases y la llama según el tipo de producto.
- La adecuada distribución de las distintas temperaturas dentro del mismo, para tener el mayor aprovechamiento con el menor gasto posible.

La quema se realiza hasta alcanzar la temperatura de 850°C y dura en total 2 días, de acuerdo a la composición de la materia prima, el tipo de unidad elaborada y de las especificaciones requeridas para el producto deseado.

Durante la cocción, la arcilla sufre transformaciones que afectan tanto su elasticidad como resistencia mecánica. Se presentan los siguientes fenómenos a medida que la temperatura aumenta:

- 1) Entre los 100°C y 200°C se elimina el agua de poros o intersticial.
- 2) Entre los 350°C y 650°C se genera la combustión de las sustancias orgánicas presentes en la arcilla.
- 3) Entre los 500°C y 650°C se produce la eliminación del agua de constitución. Este intervalo debe mantenerse controlado con mucho cuidado y debe realizarse una quema lenta, ya que durante este periodo se da una importante dilatación en las piezas que pudiese originar fisuras en ellas.

- 4) Entre los 650°C y 850°C se produce la descomposición de los carbonatos.
- 5) A partir de los 700°C se verifica la reacción química de la sílice y la alúmina, dando lugar a silico-aluminatos complejos. Posteriormente ocurre la sinterización del material, que es la formación de soldaduras internas entre las partículas cristalinas, proporcionando una particular dureza y compactación a la pieza hasta alcanzar la completa fusión del producto cerámico.
- 6) Finalmente, durante el enfriamiento, entre los 650 y 500°C, es necesario que las unidades sean enfriadas controladamente, ya que en este intervalo se produce una reacción importante en el cuarzo que origina la contracción en las piezas, y si no se realiza lenta y uniformemente, podría generarse roturas en las piezas.

Las reacciones físico-químicas provocadas por el calor durante la cocción serán las que determinen el módulo de ruptura, la resistencia a la compresión y la absorción de humedad del producto final de acuerdo a los estándares de producción, calidad óptima y normas pertinentes.

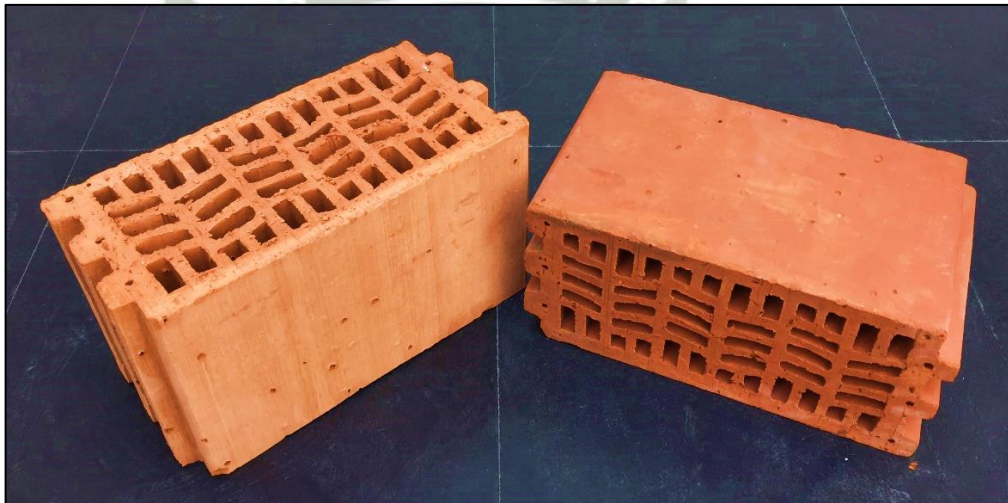


Figura 55: Bloque de termoarcilla.

Por último, luego de salir las unidades del horno, se colocan en pallets de madera, los cuales son envueltos con polietileno y permanecen almacenados hasta su envío al lugar requerido.

## CAPÍTULO VIII: UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

En el presente capítulo se indican los ensayos realizados las unidades de albañilería y se analizan y valoran los resultados obtenidos en función a los diferentes diseños realizados.

### 8.1. Método de ensayos en unidades de albañilería

#### 8.1.1. Ensayos clasificatorios

Los ensayos clasificatorios son pruebas realizadas a las unidades para limitar su aplicación en sistemas estructurales.

##### 8.1.1.1. Ensayo de variación dimensional

El ensayo de variabilidad dimensional está directamente relacionada con el espesor de las juntas, y consecuentemente, define la altura de las hiladas. Una mayor variabilidad dimensional en las unidades, exige mayor espesor de las juntas de mortero que la requerida, conduciendo a una albañilería menos resistente en compresión y en corte.

Para el ensayo se siguieron los procedimientos indicados en la NTP 399.613, utilizándose 10 unidades representativas enteras y secas correspondientes a cada diseño.

El ensayo consistió en limpiar previamente con una brocha las aristas y los lados de las unidades, para eliminar las partículas sueltas. Se midió con una regla graduada al milímetro las tres dimensiones: largo, ancho y alto.



Figura 56: Ensayo de variación dimensional.

Debido a la particular geometría de la unidad, las dimensiones de ancho y alto se midieron desde el punto medio de las aristas de cada cara, obteniendo cuatro medidas para cada dimensión, que luego se promediaron respectivamente. En el caso del largo de la unidad, además de las dimensiones medidas desde el punto medio de cada cara, se registró 6 medidas adicionales correspondientes a cada machihembrado ubicado en la cara de asentado, tanto en la cara superior como en la inferior, que también se promediaron.

La siguiente ecuación expresa la variabilidad dimensional en porcentaje:

$$V (\%) = \frac{100 (De - Dp)}{De}$$

Donde:

- V = Variabilidad dimensional expresada en porcentaje (%).
- De = Medida especificada por el fabricante (mm).
- Dp = Medida promedio calculada (mm).

#### 8.1.1.2. Ensayo de alabeo

El espesor de las juntas también depende, de la concavidad o convexidad de la unidad. Un mayor alabeo conduce a un mayor espesor de las juntas y, asimismo, puede formar vacíos en las zonas más alabeadas, reduciendo la adherencia con el mortero.

Se empleó 10 unidades enteras de cada tipo y se midió el alabeo en la superficie de asiento de la cara lisa de la unidad, tal como se indica en la NTP 399.613.

Para el ensayo, se colocó la superficie de asiento de la unidad sobre una base plana, para luego apoyar la regla metálica sobre los extremos diagonales opuestos de la superficie de asiento e introducir la cuña graduada en el punto más alabeado.

Este procedimiento se efectuó en las dos caras de asiento de la unidad, expresando los resultados en milímetros.



Figura 57: Medida de la convexidad del bloque de termoarcilla.

### 8.1.1.3. Ensayo de resistencia a compresión

La resistencia a la compresión es la principal propiedad de la unidad de albañilería, ya que representa la durabilidad y la densidad de la misma. El valor de la resistencia a compresión es función no solo de la resistencia propia de la masa, sino también de la altura de la unidad y de su geometría.

Se ensayaron 5 unidades enteras por diseño, resultados que luego fueron promediados para cada diseño correspondientemente, siguiendo todas las indicaciones de la norma NTP 399.613.

Para la realización de este ensayo se colocó un refrentado de cemento – yeso de un espesor no mayor a 3 mm sobre las caras de asiento de las unidades para uniformizar el área de contacto con los cabezales de la máquina de compresión. Debido a que el área de las unidades es mayor que la de los bloques de apoyo de acero de la máquina de compresión, fue necesario adquirir una plancha de acero de 20 X 35 cm de 1" de espesor, para que la fuerza aplicada por la prensa se reparta homogéneamente y se obtenga un contacto perfecto en toda la superficie de la unidad.



Figura 58: Bloque de termoarcilla con refrentado superior e inferior.

La prensa utilizada fue de la marca ELE International normalizada, que ejerce una carga continua de compresión perpendicular a la superficie de asiento a una velocidad de 10 ton/min.

La resistencia a compresión  $f_b$  se determina dividiendo la carga de rotura sobre el área bruta de la unidad. La resistencia característica a compresión axial  $f'_b$  fue calculada restando una desviación estándar al valor promedio del resultado:

$$f_b = \frac{\text{Carga máxima } P}{\text{Área bruta } A}$$

$$f'_b = f_b - \sigma$$

En la que:

- $f_b$  = Resistencia a compresión de la unidad ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $P$  = Carga de rotura (kg).
- $A$  = Área bruta de la unidad ( $\text{cm}^2$ ).
- $f'_b$  = Resistencia característica a compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $\sigma$  = Desviación estándar.



*Figura 59: Ensayo de resistencia a la compresión.*

### 8.1.2. Ensayos no clasificatorios

Si bien estas pruebas no determinan características que clasifiquen a la unidad conforme a la tabla 3: Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales, estas pruebas adicionales son indispensables para definir el correcto procedimiento constructivo de los muros de albañilería.

#### 8.1.2.1. Porcentaje de vacíos

Para determinar el porcentaje de vacíos de la unidad, se llena con arena Ottawa las perforaciones de la unidad, y luego el volumen de la arena se mide con una pipeta graduada. Este volumen de arena es comparado con el volumen total de la unidad:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{V_{\text{arena}}}{V_{\text{total}}} \times 100$$

Donde:

- $V_{\text{arena}}$  = Volumen ocupado por la arena en las perforaciones ( $\text{cm}^3$ ).
- $V_{\text{total}}$  = Volumen total de la unidad sin descontar perforaciones ( $\text{cm}^3$ ).

Debe tenerse en cuenta que las perforaciones pueden favorecer a la cocción de la unidad, sin embargo, cuando estas son excesivas, pueden conducir a fallas frágiles ante esfuerzos de compresión en la unidad.

Por ello, la Norma E.070 limita el uso y recomienda un máximo de 30% de perforaciones en la cara de asiento.



Figura 60: Ensayo de porcentaje de vacíos en bloque de termoarcilla.

### 8.1.2.2. Ensayo de succión

La succión es la medida de la avidéz de agua de la unidad en la cara de asiento y define la capacidad de adhesión de la unidad con el mortero. Cuando la succión de la unidad es muy alta, el mortero debido a la rápida pérdida de agua que es absorbida por la unidad, se endurece, impidiendo una adherencia completa con la cara de la siguiente unidad. En consecuencia, se tiene una adhesión pobre y uniones de baja resistencia y permeables al agua.

Para realizar el ensayo, se secaron los especímenes en el horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas. Pasado este tiempo se pesan, hasta que no haya variación en el peso seco con una precisión de 0.5 g, como lo especifica la NTP 399.613.

En una bandeja nivelada con agua, se colocó las unidades sobre unas barras de soporte, manteniendo una altura de agua de inmersión constante de 3 mm sobre los soportes durante un minuto, tiempo durante el cual la unidad debe estar en contacto con el agua. Luego de transcurrido dicho tiempo, se retiraron los especímenes, se secaron superficialmente con un paño húmedo y luego fueron pesados. El pesaje se realizó en un lapso no mayor a 2 minutos luego de ser retirados de la bandeja.

Para este ensayo se utilizaron 5 unidades enteras por diseño. La succión está expresada en gramos por minutos en un área normalizada de 200 cm<sup>2</sup>.

La succión se obtiene de:

$$S = \frac{200 \times (Ph - Ps)}{\text{Área Neta}}$$

Donde:

- S = Succión normalizada en g/(200 cm<sup>2</sup>-min).
- Ph = Peso de la unidad, luego de haber sumergido su cara de asiento una altura de 3 mm durante un minuto (g).
- Ps = Peso de la unidad luego de secarla en el horno a 110°C (g).
- Área neta = Área neta de la cara de asiento en contacto con el agua (cm<sup>2</sup>).

La Norma E.070 recomienda que al momento de asentar las unidades, la succión debe estar comprendida entre 10 y 20 g/(200 cm<sup>2</sup>-min).



Figura 61: Ensayo de succión en bloque de termoarcilla.

### 8.1.2.3. Ensayo de absorción

La absorción de las unidades de albañilería, es un indicador de la durabilidad de la unidad ante el intemperismo. Si una unidad tiene un alto índice de absorción, significa que es más porosa y por ende menos resistente al intemperismo.

Para el ensayo las unidades se secan en el horno a 110°C durante 24 horas y se registró el peso seco. Se dejan enfriar las unidades durante 4 horas a temperatura ambiente y se introducen en un recipiente lleno de agua a una temperatura entre 15°C y 30°C, dejándolas completamente sumergidas durante 24 horas. Transcurrido ese lapso se retiran y se secan con un paño húmedo antes de pesarlas.

Se ensayaron 5 unidades enteras por cada diseño.

El contenido de agua absorbida está expresada en porcentaje y se obtiene según la siguiente formula:

$$A = \frac{Psat - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

- A = Absorción (%).
- Psat = Peso de la unidad saturada, luego de 24 horas de inmersión en una poza de agua (g).
- Ps = Peso de la unidad secada al horno a 110°C (g).



Figura 62: Bloques de termoarcilla en poza de agua para el ensayo de absorción.

#### 8.1.2.4. Ensayo de absorción máxima

La absorción máxima es una medida que limita el uso de las unidades, ya que mide la impermeabilidad de las unidades de albañilería. Dado que la inmersión en el ensayo de absorción no llena completamente los poros, debe medirse nuevamente hirviendo la unidad, para obtener la absorción máxima.

Se utilizan las mismas unidades del ensayo de absorción que fueron sumergidas durante 24 horas en agua fría. Luego estas unidades se sumergen nuevamente dentro de una olla con agua a temperatura entre 15°C y 30°C, para calentar progresivamente hasta el punto de ebullición y dejar hervir durante cinco horas. Pasado este lapso, se retiran las unidades, se secan y se pesan.

La relación entre la absorción y la absorción máxima es el coeficiente de saturación, el cual si es mayor que 0.85 tal como indica la Norma E.070, las unidades serán demasiado absorbentes (muy porosas) y como consecuencia poco durables.

El contenido de agua absorbida máxima y el coeficiente de saturación se calculan como sigue:

$$Am = \frac{Psat\ ebullicion - Ps}{Ps} \times 100$$

$$CS = \frac{A}{Am}$$

Donde:

- Am = Absorción máxima (%).
- Psat = Peso de la unidad completamente saturada, luego de haber estado 5 horas en agua en ebullición (g).
- Ps = Peso de la unidad secada al horno a 110°C (g).
- CS = Coeficiente de Saturación.
- A = Absorción (%).



Figura 63: Bloques de termoarcilla durante el ensayo de absorción máxima.

#### 8.1.2.5. Ensayo de densidad

De ensayos anteriormente realizados en albañilería, se ha concluido que la densidad de las unidades de albañilería es una propiedad importante, ya que a una mayor densidad, la resistencia de la unidad también será mayor.

Se ensayaron cinco unidades por cada diseño de bloque de termoarcilla.

Para este ensayo, se secan las unidades a 110°C durante 3 horas, para luego ser pesadas. Posteriormente, se colocan las unidades en un recipiente con agua en ebullición y se deja hervir durante 5 horas. Transcurrido ese tiempo, se obtiene el peso de las unidades sumergidas, y seguidamente se toma el peso de las unidades sin sumergir.

Para la obtención de la densidad de las unidades se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P_s}{P_{sat} - P_{sum}}$$

Donde:

- D = Densidad de las unidades (g/cm<sup>3</sup>).
- P<sub>s</sub> = Peso de la unidad secada al horno a 110°C (g).
- P<sub>sat</sub> = Peso de la unidad completamente saturada, luego de haber estado 5 horas en agua en ebullición (g).
- P<sub>sum</sub> = peso de la unidad sumergida totalmente en agua fría (g).



Figura 64: Bloque de termoarcilla en sumersión durante el ensayo de densidad.

#### 8.1.2.6. Ensayo de eflorescencia

La eflorescencia es un fenómeno complejo que se debe a la presencia de sales, especialmente sulfatos (de calcio y magnesio en la fabricación y sulfatos de sodio y potasio en obra), en la unidad de arcilla o en la arena del mortero, que atacan químicamente a la unidad afectando su durabilidad, su adherencia con el mortero y destruyendo la superficie.

En las unidades de arcilla, estas se forman por la intervención de agua como agente movilizador de las sales, en donde la unidad absorbe humedad de la atmosfera que ingresa al interior y disuelve las sales, y cuando el ambiente se vuelve más seco, la humedad realiza el camino inverso, se evapora en la superficie y deja cristalizar las sales. Las eflorescencias son defectos que se originan durante su fabricación y que permanecen en la superficie prácticamente inalterada.

Se produce cuando las sales se derriten al entrar en contacto con el agua y afloran por los poros de la unidad o del mortero hacia la superficie.

Los sulfatos alcalinos que aparecen en el ladrillo también pueden ser causados por el cemento utilizado en el mortero, que muchas veces contienen también sulfatos alcalinos, así como el mismo terreno en donde es colocado el ladrillo

Ya que la eflorescencia está sujeto a muy sutiles influencias, no es posible establecer métodos de ensayo que proporcionen resultados cuantitativos capaces de representar el comportamiento de los ladrillos colocados en obra. Esto quiere decir, que la cantidad de eflorescencia que aparece en un determinado muro depende de una serie de factores, más o menos accidentales, que no pueden preverse cuando se realiza un ensayo.

Los factores accidentales, pueden deberse a los cambios meteorológicos y al comportamiento del edificio ante la presencia de cantidades variables de agua de diversos orígenes, y los factores no accidentales, de difícil estudio y más complejos, son los relacionados a la textura del ladrillo. Aunque en ciertos casos se ha creído ver alguna relación, entre la cantidad de sales solubles en la unidad y su eflorescibilidad, no puede generalizarse si no se tienen en cuenta simultáneamente la textura de la unidad y la naturaleza de las sales.

Las unidades se ensayaron de acuerdo a la Norma NTP 399.613. El ensayo consiste en seleccionar 10 unidades enteras, secadas previamente en el horno durante 24 horas, de las cuales se ensayan cinco y se guardan otras cinco como patrones. El grupo que constituye la muestra se distribuye en 5 pares, procurando que las dos unidades de cada par tengan la misma apariencia posible. De cada pareja, una unidad se ensaya, y la otra se guarda como patrón en la habitación donde se hace el ensayo.

Se coloca una unidad de cada par en una bandeja, espaciadas cada 5 cm, sumergidas una altura constante de agua de 2.5 cm durante 7 días. Transcurrido ese tiempo, se inspeccionan las unidades y se secan en el horno tanto las ensayadas como las de patrón durante 24 horas.

Finalmente, se examina y compara cada par de unidades, observando la cara superior y las laterales de la unidad. Si no se aprecia diferencia alguna clasifica como “no eflorescido”. En caso exista alguna diferencia visible a simple vista, se hace la comparación observando los pares a una distancia de 3 metros. Si en esas condiciones no se detecta diferencia alguna, clasifican como “ligeramente eflorescido”, y si las diferencias en esas condiciones son perceptibles, se aplica la clasificación de “eflorescido”.

El resultado no es cuantitativo, solo es cualitativo y subjetivo.



Figura 65: Bloques de termoarcilla sumergidos 2.5 cm en una bandeja durante el ensayo de eflorescencia.



Figura 66: Unidad ensayada (izquierda) junto a su par no ensayado (derecha).

## 8.2. Resultados

En el presente acápite se analizan y valoran los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las unidades de albañilería en función a los diferentes diseños realizados.

En la primera fase se analiza básicamente los resultados obtenidos de los ensayos clasificatorios, para cada dosificación propuesta.

En la segunda fase, se analizan los resultados de los ensayos no clasificatorios, para finalmente seleccionar el diseño óptimo.

### 8.2.1. Fase I

En esta primera fase, se muestran los resultados correspondientes a los 4 diseños realizados en función a los ensayos clasificatorios, los cuales son:

- a) Variación dimensional
- b) Alabeo
- c) Resistencia a la compresión

Como ya se mencionó, los diseños fueron nombrados con las siglas BD0, BD1, BD2, BD3 de acuerdo a la dosificación de poliestireno incluido en la masa arcillosa.

#### 8.2.1.1. Variación dimensional

Para las medidas de largo de la unidad, se registró 6 medidas tanto para la cara superior como para la inferior, debido al machihembrado propio de las unidades. Para los laterales se registró una medida por cada lateral, tal como lo indica la norma.

En cuanto al ancho y alto de la unidad, se realizó conforme las recomendaciones establecidas en la norma. Las dimensiones registradas se encuentran en el anexo G.

Cabe señalar que las dimensiones analizadas son con respecto a la dimensión establecida en la geometría de la unidad diseñada, como se indica en la tabla 13:

Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
286.00	140.00	180.00

Tabla 13: Dimensiones establecidas en la geometría de la unidad.

En las tablas expuestas a continuación se muestra el resumen los valores promedio de cada muestra correspondiente a cada diseño de bloques con respecto al largo, ancho y alto, además del promedio, la desviación estándar y la variación porcentual.

- Bloque Diseño BD0

DISEÑO 0 - BD0			
Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
BD0 - 1	286.08	140.30	180.75
BD0 - 2	286.04	140.75	179.83
BD0 - 3	286.65	140.00	179.95
BD0 - 4	285.62	140.43	180.88
BD0 - 5	286.20	140.88	180.00
BD0 - 6	285.70	139.70	178.93
BD0 - 7	286.04	140.13	180.00
BD0 - 8	286.42	140.40	179.75
BD0 - 9	285.43	139.70	180.25
BD0 - 10	286.13	139.50	181.08
PROMEDIO	286.03	140.18	180.14
DESVIAC. ESTÁNDAR	0.37	0.46	0.63
VARIACIÓN (%)	0.01	0.13	0.08

Tabla 14: Resultados de variación dimensional del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

DISEÑO 1 - BD1			
Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
BD1 - 1	286.02	140.00	180.83
BD1 - 2	286.50	139.75	179.98
BD1 - 3	286.54	139.63	180.20
BD1 - 4	286.82	139.95	180.50
BD1 - 5	286.26	140.75	181.18
BD1 - 6	286.01	140.13	180.93
BD1 - 7	285.96	140.25	180.68
BD1 - 8	286.25	140.20	179.93
BD1 - 9	285.82	140.93	180.20
BD1 - 10	285.87	139.93	180.30
PROMEDIO	286.20	140.15	180.47
DESVIAC. ESTÁNDAR	0.33	0.41	0.42
VARIACIÓN (%)	0.07	0.11	0.26

Tabla 15: Resultados de variación dimensional del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

DISEÑO 2 - BD2			
Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
BD2 - 1	286.43	140.50	181.25
BD2 - 2	287.15	140.68	181.95
BD2 - 3	286.88	141.25	180.83
BD2 - 4	286.83	141.13	180.03
BD2 - 5	286.28	140.38	180.63
BD2 - 6	286.98	139.25	180.15
BD2 - 7	286.14	140.05	180.93
BD2 - 8	286.04	139.25	179.63
BD2 - 9	285.55	139.93	181.58
BD2 - 10	286.00	140.40	179.13
PROMEDIO	286.43	140.28	180.61
DESVIAC. ESTÁNDAR	0.52	0.68	0.88
VARIACIÓN (%)	0.15	0.20	0.34

Tabla 16: Resultados de variación dimensional del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

DISEÑO 3 - BD3			
Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
BD3 - 1	284.97	140.13	179.63
BD3 - 2	285.84	140.50	180.13
BD3 - 3	285.82	139.45	178.88
BD3 - 4	284.65	140.88	179.90
BD3 - 5	285.21	140.25	179.28
BD3 - 6	285.60	139.30	179.68
BD3 - 7	285.97	138.25	180.35
BD3 - 8	285.37	144.00	179.25
BD3 - 9	285.78	139.75	178.38
BD3 - 10	285.40	140.25	181.38
PROMEDIO	285.46	140.28	179.68
DESVIAC. ESTÁNDAR	0.42	1.50	0.83
VARIACIÓN (%)	-0.19	0.20	-0.18

Tabla 17: Resultados de variación dimensional del Diseño BD3.

En las tablas 14, 15, 16 y 17 se puede observar que para todos los diseños, la variación porcentual de las medidas de las unidades con respecto a las medidas nominales es mínima.

Largo			Ancho			Alto		
Dimensión nominal (mm)		286.00	Dimensión nominal (mm)		140.00	Dimensión nominal (mm)		180.00
Variación	(%)	mm	Variación	(%)	mm	Variación	(%)	mm
Exceso (+)	0.15	0.43	Exceso (+)	0.20	0.28	Exceso (+)	0.34	0.61
Defecto (-)	0.19	0.54				Defecto (-)	0.18	0.32

Tabla 18: Variación porcentual de las dimensiones promedio de los diseños.

Para la medida de largo está en el orden de 0.15% de variación por exceso y 0.19% de variación por defecto. En cuanto al ancho, 0.20% por exceso y, finalmente para el alto 0.34% de variación por exceso y 0.18% de variación por defecto.

Como se puede observar, la variabilidad es pequeña, menor a 1 mm para todos los diseños.

Tomando en cuenta las características indicadas en la norma E.070 Albañilería la cual, para fines estructurales, establece para un ladrillo Tipo V la variación porcentual máxima de  $\pm 1$  para el largo,  $\pm 2$  para el ancho y  $\pm 1$  para el alto. Como puede apreciarse, los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con lo indicado en la normativa, clasificando las unidades de todos los diseños como Tipo V.

#### 8.2.1.2. Alabeo

Se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de alabeo. (Anexo H)

- Bloque Diseño BD0

DISEÑO 0 - BD0		
Espécimen	Concavidad	Convexidad
BD0 - 1	0.75	0.15
BD0 - 2	0.58	0.00
BD0 - 3	0.38	0.00
BD0 - 4	0.75	0.20
BD0 - 5	0.13	0.00
BD0 - 6	1.05	0.00
BD0 - 7	0.08	0.00
BD0 - 8	0.05	0.40
BD0 - 9	0.25	0.50
BD0 - 10	0.33	0.00
PROMEDIO	0.43	0.13

Tabla 19: Resultados de alabeo del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

DISEÑO 1 - BD1		
Espécimen	Concavidad	Convexidad
BD1 - 1	0.95	0.00
BD1 - 2	0.00	0.40
BD1 - 3	0.50	0.00
BD1 - 4	0.48	0.00
BD1 - 5	0.33	0.00
BD1 - 6	0.25	0.30
BD1 - 7	0.28	0.00
BD1 - 8	0.25	0.75
BD1 - 9	0.98	0.00
BD1 - 10	0.68	0.00
PROMEDIO	0.47	0.15

Tabla 20: Resultados de alabeo del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

DISEÑO 2 - BD2		
Espécimen	Concavidad	Convexidad
BD2 - 1	0.75	0.60
BD2 - 2	1.25	0.00
BD2 - 3	0.00	0.40
BD2 - 4	0.30	0.00
BD2 - 5	0.05	0.50
BD2 - 6	0.18	0.00
BD2 - 7	0.00	0.63
BD2 - 8	0.90	0.00
BD2 - 9	0.70	0.00
BD2 - 10	0.63	0.00
PROMEDIO	0.48	0.21

Tabla 21: Resultados de alabeo del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

DISEÑO 3 - BD3		
Espécimen	Concavidad	Convexidad
BD3 - 1	0.50	0.00
BD3 - 2	0.40	0.00
BD3 - 3	0.70	0.00
BD3 - 4	1.00	0.00
BD3 - 5	0.63	0.00
BD3 - 6	0.75	0.00
BD3 - 7	1.28	0.00
BD3 - 8	0.25	0.75
BD3 - 9	0.00	0.00
BD3 - 10	0.38	0.00
PROMEDIO	0.59	0.08

Tabla 22: Resultados de alabeo del Diseño BD3.

Se aprecia que para la totalidad de muestras de los 4 diseños, se tiene una tendencia a la concavidad en la superficie, en donde el mayor valor promedio es de 0.59 mm. El valor máximo establecido de alabeo para que la unidad clasifique como Tipo V es de 2 mm, en donde los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con este parámetro.

### 8.2.1.3. Resistencia a la compresión

Se muestran los resultados obtenidos para los ensayos de resistencia a compresión de las unidades.

- Bloque Diseño BD0

Espécimen	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura P (kg)	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto			
BD0 - 1	28.57	13.97	17.89	399.12	79410	198.96
BD0 - 2	28.60	14.01	18.00	400.69	78990	197.14
BD0 - 3	28.64	14.04	17.98	402.11	79500	197.71
BD0 - 4	28.54	13.97	18.03	398.70	79900	200.40
BD0 - 5	28.61	13.95	18.11	399.11	76730	192.25
PROMEDIO					fb (prom)	197.29
DESVIAC. ESTANDAR					$\sigma$	3.08
RESISTENCIA					f'b (kg/cm <sup>2</sup> )	194.21

Tabla 23: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Especímen	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura P (kg)	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto			
BD1 - 1	28.60	14.01	18.09	400.69	75330	188.00
BD1 - 2	28.60	14.03	18.07	401.26	76870	191.57
BD1 - 3	28.62	14.02	17.99	401.25	76340	190.25
BD1 - 4	28.58	14.09	18.02	402.69	75280	186.94
BD1 - 5	28.59	13.99	18.03	399.97	77680	194.21
PROMEDIO					fb (prom)	190.20
DESVIAC. ESTANDAR					$\sigma$	2.89
RESISTENCIA					f'b (kg/cm <sup>2</sup> )	187.31

Tabla 24: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Especímen	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura P (kg)	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto			
BD2 - 1	28.70	13.93	18.02	399.79	73390	183.57
BD2 - 2	28.61	14.01	18.09	400.83	75930	189.43
BD2 - 3	28.60	13.93	17.96	398.40	74600	187.25
BD2 - 4	28.56	13.99	18.16	399.55	72110	180.48
BD2 - 5	28.60	14.04	17.91	401.54	75130	187.10
PROMEDIO					fb (prom)	185.57
DESVIAC. ESTANDAR					$\sigma$	3.54
RESISTENCIA					f'b	182.03

Tabla 25: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Especímen	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura P (kg)	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto			
BD3 - 1	28.56	13.93	17.97	397.84	59360	149.21
BD3 - 2	28.60	13.83	18.04	395.54	54730	138.37
BD3 - 3	28.54	14.40	17.93	410.98	58850	143.20
BD3 - 4	28.58	13.98	17.84	399.55	50630	126.72
BD3 - 5	28.54	14.03	18.14	400.42	59850	149.47
PROMEDIO					fb (prom)	141.39
DESVIAC. ESTANDAR					$\sigma$	9.41
RESISTENCIA					f'b	131.98

Tabla 26: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD3.

La tabla 27 muestra un resumen comparativo de la resistencia a compresión de la unidad para los diferentes diseños realizados.

DISEÑO	Poliestireno adicionado (cm <sup>3</sup> )	Materia Prima (%)	Poliestireno (%)	Relación materia prima/poliestireno	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
BD0	0.00	100.00%	0.00%	100.00	194.21
BD1	100.00	97.80%	2.20%	44.45	187.31
BD2	250.00	94.50%	5.50%	17.18	182.03
BD3	500.00	89.00%	11.00%	8.09	131.98

Tabla 27: Comparación de la resistencia a la compresión entre diseños según la relación materia prima/poliestireno.

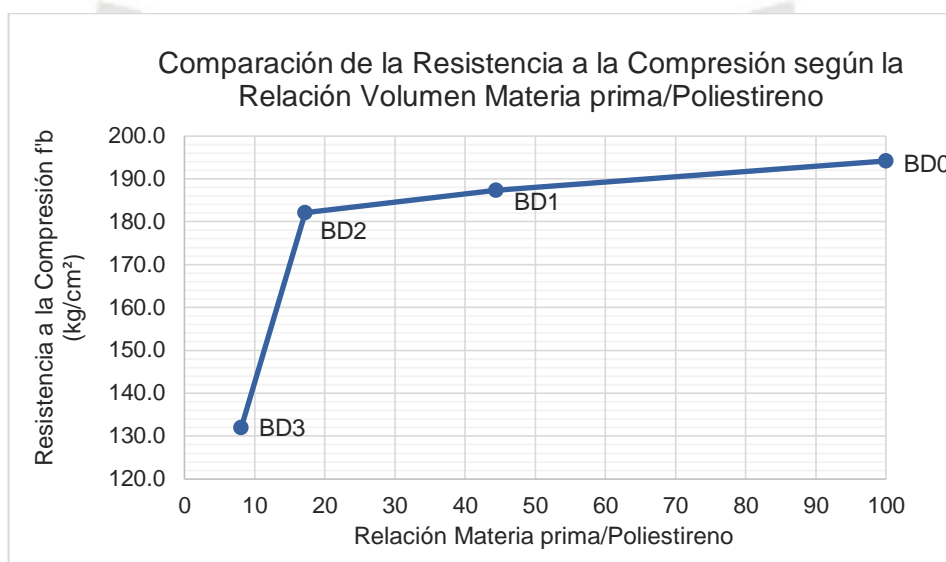


Gráfico 25: Comparación de la resistencia a la compresión entre diseños según la relación materia prima/poliestireno.

El diseño BD0, en el cual no se adicionó esferas de poliestireno a la masa, brindó los mejores resultados de resistencia a la compresión, con un valor de 194.21 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede apreciar que la diferencia entre el diseño BD1 y BD2 no está tan significativa en comparación con el diseño BD3. La diferencia entre el diseño BD1 y BD2 es de 5.28 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la diferencia entre el diseño BD2 y el BD3 es de 50.05 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa una disminución de la resistencia conforme se adicionó un mayor porcentaje de volumen de poliestireno en la masa, pudiéndose atribuirse dicha reducción al porcentaje de vacíos incorporado a la masa, generando bloques de menor densidad y por ende menor resistencia.

En función a lo anterior, las unidades clasificarían como sigue:

- Diseño BD0 – Clase V
- Diseño BD1 – Clase V
- Diseño BD2 – Clase V
- Diseño BD3 – Clase IV

### 8.2.2. Fase II

En esta fase se muestran los resultados correspondientes a los ensayos no clasificatorios de las unidades diseñadas, los cuales son:

- a) Porcentaje de vacíos
- b) Succión
- c) Absorción
- d) Absorción máxima
- e) Densidad
- f) Eflorescencia

A partir de los resultados obtenidos, se seleccionará el diseño que mejores propiedades y características físicas y mecánicas presente.

#### 8.2.2.1. Porcentaje de vacíos

Se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de porcentaje de vacíos en unidades de bloque de termoarcilla del Diseño BD0, BD1, BD2 y BD3. Los valores obtenidos se detallan en el anexo I.

- Bloque Diseño BD0

En la tabla 28 se observan los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el bloque Diseño BD0.

Espécimen	% de Vacíos
BD0 – 1	36.05
BD0 – 2	36.07
BD0 – 3	36.05
BD0 – 4	36.04
BD0 – 5	36.07
BD0 – 6	36.29
BD0 – 7	36.08
BD0 – 8	36.07
BD0 – 9	36.12
BD0 – 10	36.08
PROMEDIO	36.09%

Tabla 28: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

En la tabla 29 se observan los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el bloque Diseño BD1.

Espécimen	% de Vacíos
BD1 – 1	36.33
BD1 – 2	36.43
BD1 – 3	36.43
BD1 – 4	36.25
BD1 – 5	35.99
BD1 – 6	36.30
BD1 – 7	36.23
BD1 – 8	36.41
BD1 – 9	36.22
BD1 - 10	36.42
PROMEDIO	36.30%

Tabla 29: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

En la tabla 30 se observan los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el bloque Diseño BD2.

Espécimen	% de Vacíos
BD2 – 1	36.49
BD2 – 2	36.26
BD2 – 3	36.35
BD2 – 4	36.62
BD2 – 5	36.69
BD2 – 6	36.98
BD2 – 7	36.79
BD2 – 8	37.29
BD2 – 9	36.74
BD2 - 10	37.07
PROMEDIO	36.73%

Tabla 30: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

En la tabla 31 se observan los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el bloque Diseño BD3.

Espécimen	% de Vacíos
BD3 – 1	37.17
BD3 – 2	36.89
BD3 – 3	37.37
BD3 – 4	36.94
BD3 – 5	37.15
BD3 – 6	37.31
BD3 – 7	37.36
BD3 – 8	36.18
BD3 – 9	37.41
BD3 - 10	36.72
PROMEDIO	37.05%

Tabla 31: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD3.

El promedio de porcentajes de vacíos para el bloque de termoarcilla según cada diseño se muestra en el gráfico 26:

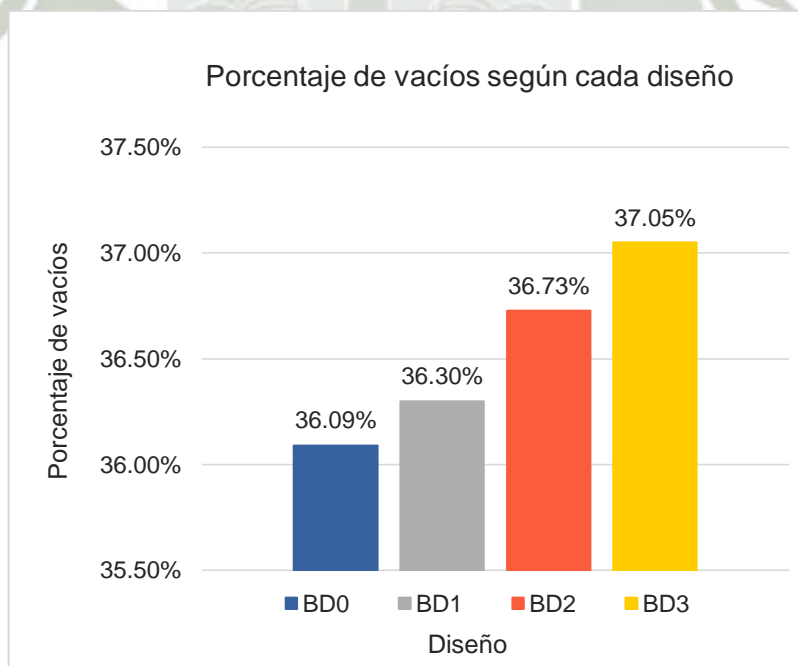


Gráfico 26: Porcentaje de vacíos según cada diseño de bloque de termoarcilla.

El porcentaje de vacíos en el diseño BD0, diseño en el cual no se adiciono poliestireno presenta un 36.09%. Este valor corresponde a la cantidad de vacíos que se generó en la geometría de la boquilla diseñada.

Al adicionar poliestireno (diseño BD1, BD2 y BD3), ciertas esferas se distribuyeron también en las paredes expuestas de la unidad y dado que el ensayo se realiza con arena graduada, esta ocupó los pequeños poros dejados por las esferas de poliestireno luego de la cocción, manifestado en el incremento del porcentaje de vacíos conforme el diseño contenía mayor volumen de esferas de poliestireno.

El valor obtenido promedio de los 4 diseños es de 36.54%.

#### 8.2.2.2. Succión

Los valores registrados para el ensayo de succión se detallan en el anexo J.

- Bloque Diseño BD0

Se detallan los resultados obtenidos en la tabla 32:

Espécimen	Succión (g/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD0 - 1	27.27
BD0 - 2	28.74
BD0 - 3	29.22
BD0 - 4	29.24
BD0 - 5	29.48
PROMEDIO	28.79

Tabla 32: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Se detallan los resultados obtenidos en la tabla 33:

Espécimen	Succión (g/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD1 - 1	33.34
BD1 - 2	32.60
BD1 - 3	33.04
BD1 - 4	32.04
BD1 - 5	31.39
PROMEDIO	32.48

Tabla 33: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Se detallan los resultados obtenidos en la tabla 34:

Espécimen	Succión (g/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD2 - 1	40.30
BD2 - 2	37.28
BD2 - 3	41.86
BD2 - 4	36.26
BD2 - 5	42.05
PROMEDIO	39.55

Tabla 34: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Se detallan los resultados obtenidos en la tabla 35:

Espécimen	Succión (g/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD3 - 1	51.82
BD3 - 2	50.51
BD3 - 3	54.47
BD3 - 4	52.97
BD3 - 5	53.68
PROMEDIO	52.69

Tabla 35: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD3.

Se recomienda que la succión al momento del asentado de las unidades de arcilla esté en el rango de 10 a 20 g/(200 cm<sup>2</sup>-min), ya que de lo contrario succionarán rápidamente el agua del mortero, endureciéndolo y reduciendo la adherencia. El valor de la succión promedio obtenida en los ensayos se muestra en la tabla 36, donde para todos los diseños es mayor a lo recomendado, por lo que es necesario regar las unidades durante media hora un día antes del asentado, para modificar la succión de asentado.

Diseño	Succión (gr/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD0	28.79
BD1	32.48
BD2	39.55
BD3	52.69

Tabla 36: Resultados promedio del ensayo de succión correspondiente a cada diseño.

### 8.2.2.3. Absorción

Se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de absorción para los 4 diseños.  
(Anexo K)

- Bloque Diseño BD0

Espécimen	Absorción (%)
BD0 - 1	12.19
BD0 - 2	12.26
BD0 - 3	12.28
BD0 - 4	12.06
BD0 - 5	12.13
PROMEDIO	12.18%

Tabla 37: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Espécimen	Absorción (%)
BD1 - 1	12.96
BD1 - 2	12.93
BD1 - 3	13.00
BD1 - 4	12.91
BD1 - 5	13.04
PROMEDIO	12.96%

Tabla 38: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Espécimen	Absorción (%)
BD2 - 1	14.24
BD2 - 2	14.90
BD2 - 3	14.75
BD2 - 4	14.39
BD2 - 5	14.16
PROMEDIO	14.49%

Tabla 39: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Espécimen	Absorción (%)
BD3 - 1	16.49
BD3 - 2	16.51
BD3 - 3	16.49
BD3 - 4	16.55
BD3 - 5	16.58
PROMEDIO	16.52%

Tabla 40: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD3.

La absorción de las unidades correspondientes a cada diseño cumple con lo establecido en la Norma E.070, en donde especifica que debe ser menor al 22% para que sea aceptable. Las unidades están dentro de ese límite con un valor de absorción máximo de 16.52% y mínimo de 12.18%, correspondientes a los diseños BD3 y BD0 respectivamente. (Tabla 41)

Diseño	Absorción (%)
BD0	12.18
BD1	12.96
BD2	14.49
BD3	16.52

Tabla 41: Resultados promedio del ensayo de absorción correspondiente a cada diseño.

Debe mencionarse que, a pesar que las unidades tengan una porosidad añadida brindada por el poliestireno adicionado en la masa, los valores de absorción se encuentran en el rango de valores de absorción para ladrillos tradicionales de arcilla (13%). Esta no variación puede atribuirse a la buena calidad de materia prima empleada en la elaboración, mostrando que el acomodo granulométrico y la presión de vacío durante la extrusión fueron óptimo, no desarrollando porosidad significativa más que el atribuido por las esferas añadidas.

#### 8.2.2.4. Absorción máxima

Los resultados obtenidos en el ensayo de absorción máxima (anexo K) para cada diseño se muestran a continuación:

- Bloque Diseño BD0

Espécimen	Absorción Máxima (%)
BD0 - 1	15.37
BD0 - 2	15.35
BD0 - 3	15.38
BD0 - 4	15.23
BD0 - 5	15.30
PROMEDIO	15.33

Coef. Saturación
0.795

Tabla 42: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Espécimen	Absorción Máxima (%)
BD1 - 1	15.94
BD1 - 2	15.89
BD1 - 3	16.01
BD1 - 4	15.83
BD1 - 5	15.95
PROMEDIO	15.92

Coef. Saturación
0.814

Tabla 43: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Espécimen	Absorción Máxima (%)
BD2 - 1	17.32
BD2 - 2	17.75
BD2 - 3	17.57
BD2 - 4	17.49
BD2 - 5	17.26
PROMEDIO	17.48

Coef. Saturación
0.829

Tabla 44: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Espécimen	Absorción Máxima (%)
BD3 - 1	16.62
BD3 - 2	16.60
BD3 - 3	16.59
BD3 - 4	16.61
BD3 - 5	16.64
PROMEDIO	16.61

Coef. Saturación
0.995

Tabla 45: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD3.

Los coeficientes de saturación de las unidades correspondientes a cada diseño se muestran comparativamente en el gráfico 27:

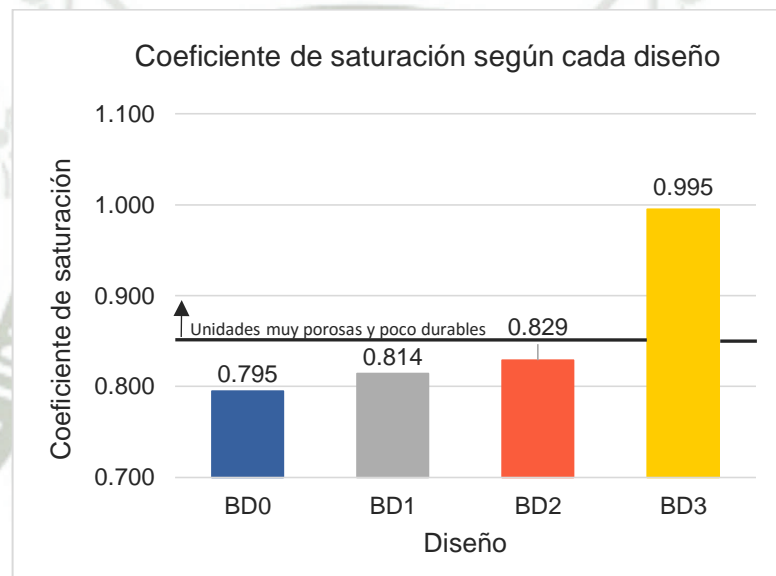


Gráfico 27: Coeficiente de saturación correspondiente a cada diseño.

Las unidades con coeficientes de saturación mayores que 0.85 son demasiado absorbentes y como consecuencia, poco durables.

El diseño BD3, con un coeficiente de saturación de 0.995, es el único de entre todos que sobrepasa el límite de 0.85. Las unidades de este diseño, al presentar un mayor porcentaje de porosidad formada por la cocción del poliestireno, absorben una mayor cantidad de agua. La absorción de este diseño cumple satisfactoriamente con lo indicado en la norma ( $16.52\% < 22\%$ ), sin embargo durante el ensayo de absorción máxima, fue el diseño que menos incremento tuvo en comparación con el ensayo de absorción. La menor variación entre los dos ensayos generó un coeficiente de saturación mayor ( $CS = 0.995$ ), demostrando que la porosidad de la unidad es tal que la absorción es máxima cuando entra en contacto con el agua, siendo una unidad poco durable.

### 8.2.2.5. Densidad

Se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de densidad para cada diseño. El detalle de los valores registrados se exponen en el Anexo L.

- Bloque Diseño BD0

Espécimen	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
BD0 - 1	1.950
BD0 - 2	1.946
BD0 - 3	1.936
BD0 - 4	1.937
BD0 - 5	1.940
PROMEDIO	1.942

Tabla 46: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Espécimen	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
BD1 - 1	1.910
BD1 - 2	1.908
BD1 - 3	1.911
BD1 - 4	1.909
BD1 - 5	1.916
PROMEDIO	1.911

Tabla 47: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Espécimen	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
BD2 - 1	1.855
BD2 - 2	1.858
BD2 - 3	1.862
BD2 - 4	1.847
BD2 - 5	1.848
PROMEDIO	1.854

Tabla 48: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Espécimen	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
BD3 - 1	1.785
BD3 - 2	1.777
BD3 - 3	1.787
BD3 - 4	1.776
BD3 - 5	1.771
PROMEDIO	1.779

Tabla 49: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD3.

El gráfico 28 muestra la densidad correspondiente a cada diseño, la cual va disminuyendo a medida que el diseño contiene una mayor porosidad. A su vez, se muestra la ecuación lineal  $y = -0.0149x + 1.941$ , que representa la disminución de la densidad de la unidad en función a la cantidad de poliestireno adicionado en % de volumen.

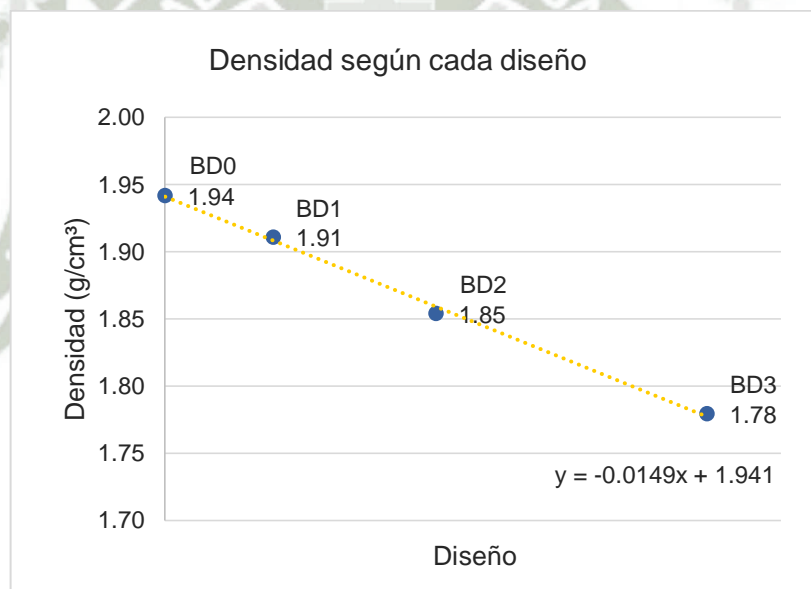


Gráfico 28: Densidad según cada diseño de bloque de termoarcilla.

La densidad de las unidades de arcilla tradicional se encuentra en el rango de 1.90 a 2.00 g/cm<sup>3</sup>. En las unidades de termoarcilla se refleja una menor densidad, producto de la porosidad incorporada a la unidad. Dicha porosidad añadida influye también en el peso y resistencia a compresión de cada diseño, como ve observa en los gráficos 29 y 30.

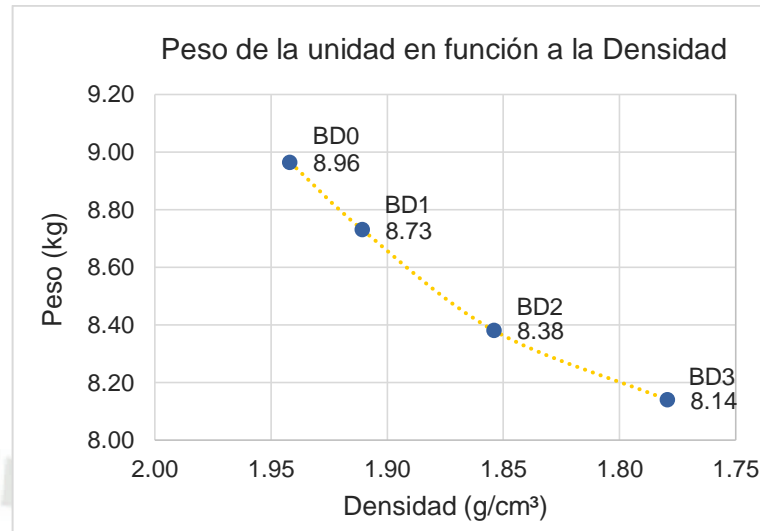


Gráfico 29: Peso de la unidad vs densidad.

En el gráfico 29 se muestra la reducción del peso de la unidad a medida que también se reduce la densidad. Se tendrá un menor peso mientras la unidad tenga una mayor cantidad de poros en su composición. La adición de 500 cm<sup>3</sup> de esferas de poliestireno en la masa significa una reducción en peso de 820 gramos de la unidad cocida, correspondiente al 9.20% del peso del diseño BD3 respecto a BD0.

Sin embargo, el empleo de un mayor porcentaje de poliestireno en la masa (>500 cm<sup>3</sup>), como ya se mencionó, generaría deformaciones y fisuras en la pieza, y a su vez no se lograría la homogenización y acomodo adecuado de la materia prima y poliestireno en la unidad, reduciéndose significativamente el peso de la unidad, no manteniendo la tendencia presentada en el gráfico 29.

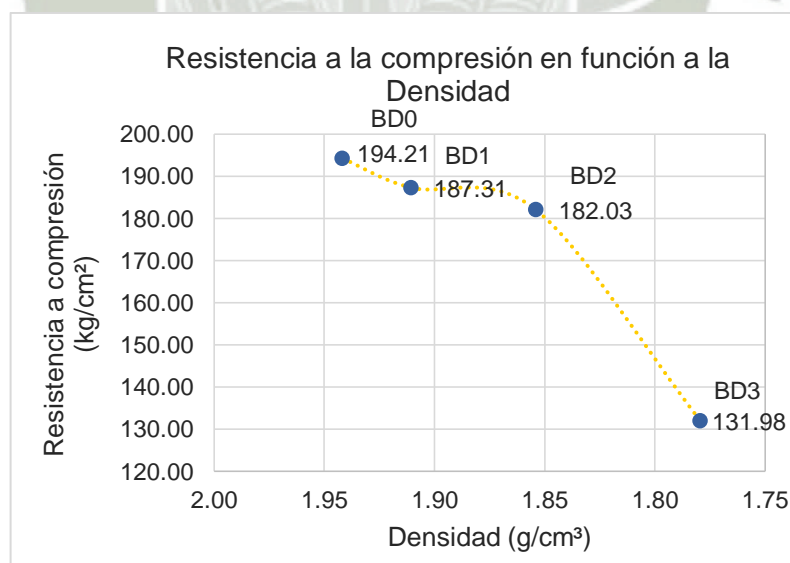


Gráfico 30: Resistencia a la compresión de la unidad vs densidad.

El gráfico 30 refleja la reducción de la resistencia de la unidad conforme su densidad es disminuye. La reducción de la resistencia a compresión no es lineal, ya que a medida que se incrementa la cantidad de poros internos en la unidad, hay una mayor tendencia a la formación de fisuras y microgrietas en secado y cocción, reduciendo la resistencia significativamente, ya que la unidad antes de ser sometida a compresión ya presentará fisuras en su interior.

#### 8.2.2.6. Eflorescencia

Se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de eflorescencia para cada diseño.

- Bloque Diseño BD0

Espécimen	No eflorescido	Ligeramente eflorescido	Eflorescido
BD0 - 1	X		
BD0 - 2	X		
BD0 - 3	X		
BD0 - 4	X		
BD0 - 5	X		

Tabla 50: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD0.

- Bloque Diseño BD1

Espécimen	No eflorescido	Ligeramente eflorescido	Eflorescido
BD1 - 1	X		
BD1 - 2	X		
BD1 - 3	X		
BD1 - 4	X		
BD1 - 5	X		

Tabla 51: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD1.

- Bloque Diseño BD2

Espécimen	No eflorescido	Ligeramente eflorescido	Eflorescido
BD2 - 1	X		
BD2 - 2	X		
BD2 - 3		X	
BD2 - 4	X		
BD2 - 5	X		

Tabla 52: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD2.

- Bloque Diseño BD3

Espécimen	No eflorescido	Ligeramente eflorescido	Eflorescido
BD3 - 1		X	
BD3 - 2		X	
BD3 - 3	X		
BD3 - 4		X	
BD3 - 5	X		

Tabla 53: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD3.

Los resultados de este ensayo (gráfico 31) fueron satisfactorios para el diseño BD0 y BD1, en donde el total de muestras clasifico como no eflorescido. En el diseño BD2, el 80% de las muestras resulto no eflorescido, teniendo un 20% ligeramente eflorescido. Para el diseño BD3, se tiene un mayor porcentaje de unidades ligeramente eflorescidas, con un 60% en comparación con las no eflorescidas, de 40%.

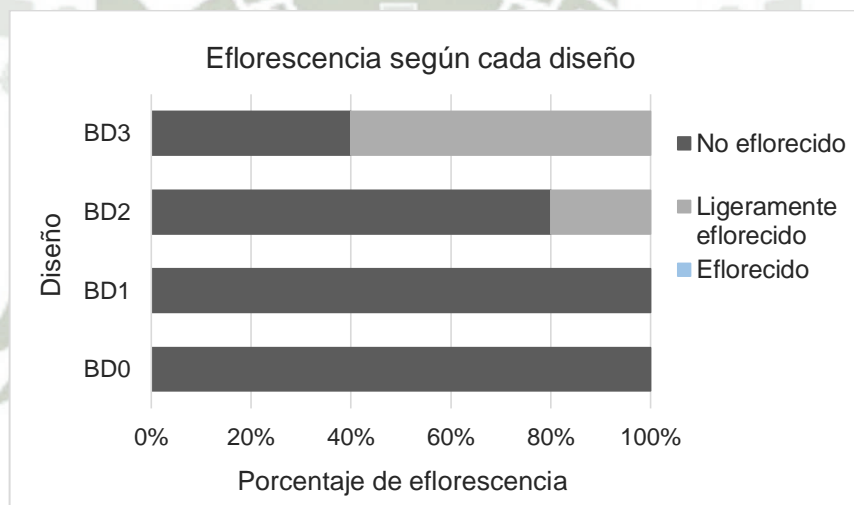


Gráfico 31: Eflorescencia presentada en cada diseño.

Los resultados muestran que cuando una unidad es más porosa, absorbe mayor humedad de la atmósfera y, cuando la humedad realiza el camino inverso al estar nuevamente en un estado más seco, deja cristalizar una mayor cantidad de sales en la superficie de la unidad en forma de eflorescencia blanca de carbonato de calcio.

La eflorescencia es una consecuencia natural de la propia materia prima (contenido y granulometría de óxidos calcáreos), la cual se incrementa en esta investigación, a medida que se añadió esferas de poliestireno en la masa y por tanto, una mayor porosidad.

### 8.3. Análisis de resultados

De acuerdo a los ensayos de requisitos obligatorios realizados en las unidades de albañilería denominadas Diseño “BD0”, Diseño “BD1”, Diseño “BD2” y Diseño “BD3”, se muestra en la tabla 54 el resumen de los ensayos correspondientes a cada diseño y su clasificación de acuerdo a la NTE E.070 Albañilería.

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		DISEÑO			
		BD0	BD1	BD2	BD3
Peso	kg	8.96	8.73	8.38	8.14
Largo	mm	286.03	286.20	286.43	285.46
	%	0.01	0.07	0.15	-0.19
Ancho	mm	140.18	140.15	140.28	140.28
	%	0.13	0.11	0.20	0.20
Alto	mm	180.14	180.47	180.61	179.68
	%	0.08	0.26	0.34	-0.18
Concavidad	mm	0.43	0.47	0.48	0.59
Convexidad	mm	0.13	0.15	0.21	0.08
Resistencia a compresión	kg/cm <sup>2</sup>	194.21	187.31	182.03	131.98
Porcentaje de vacíos	%	0.361	0.363	0.367	0.371
Succión	gr/(200 cm <sup>2</sup> -min)	28.79	32.48	39.55	52.69
Absorción	%	12.18	12.96	14.49	16.52
Absorción Máxima	%	15.33	15.92	17.48	16.61
Coef. Saturación		0.795	0.814	0.829	0.995
Eflorescencia	No Eflorencido	100%	100%	80%	40%
	Ligeramente Eflor.	0%	0%	20%	60%
	Eflorencido	0%	0%	0%	0%
CLASIFICACIÓN		Clase V	Clase V	Clase V	Clase IV

Tabla 54: Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos a las unidades de albañilería.

A partir de la tabla anterior, se concluye que la proporción más acertada para el desarrollo de bloques de termoarcilla está entre el diseño BD1 y el BD2, en donde la resistencia no varía significativamente y puede considerarse aceptable para el fin de esta investigación.

Sin embargo, con el objetivo de desarrollar unidades más livianas, se optó por seleccionar el diseño BD2 como el diseño más óptimo, ya que presenta adecuados resultados a nivel de ensayos clasificatorios y no clasificatorios, con un menor peso de la unidad.

## CAPÍTULO IX: PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

El control de la calidad de las unidades de albañilería no es suficiente para predecir el comportamiento de la albañilería ante sollicitaciones reales, es por ello que se ensayan especímenes pequeños de albañilería a los cuales se les aplica cargas que representan los esfuerzos reales a los que serán sometidos, tal como se verá en este capítulo.

### 9.1. Mortero

#### 9.1.1. Definición de mortero

Las construcciones de albañilería emplean al mortero como adhesivo por excelencia para sus unidades. El mortero es el resultado de la mezcla de cemento, agregado, agua y cal cuando se requiera. La principal función del mortero es la de unir las unidades de albañilería y que dicha adherencia sea completa, fuerte y duradera. Además, permite controlar y mejorar ciertas irregularidades propias de la albañilería.

Durante el asentado de las unidades, es importante el control del temple del mortero, ya que la cantidad de agua añadida por el albañil debe proporcionar una mezcla trabajable y adhesiva, sin producir segregación.

#### 9.1.2. Composición del mortero

La norma E.070 de Albañilería establece ciertos requisitos que deben cumplir los componentes del mortero, los cuales son:

##### a) Cemento

La norma indica que los materiales aglomerantes del mortero pueden ser el cemento portland o cemento adicionado normalizado y cal hidratada normalizada.

El cemento empleado para los prismas de albañilería fue Cemento Sol Tipo I.

##### b) Agregado fino

El agregado a utilizar para el mortero será arena gruesa natural, la cual debe estar libre de materia orgánica y sales, cumpliendo también con la granulometría mostrada en la tabla 55.

Granulometría de la arena gruesa	
Malla ASTM	% Pasante
N° 4 (4.75 mm)	100
N° 8 (2.36 mm)	95 a 100
N° 16 (1.18 mm)	70 a 100
N° 30 (0.60 mm)	40 a 75
N° 50 (0.30 mm)	10 a 35
N° 100 (0.15 mm)	2 a 15
N° 200 (0.075 mm)	Menos de 2

Tabla 55: Granulometría de la arena gruesa. Fuente Norma E.070

La arena empleada provino de la cantera de Chosica al sur de Lima, con un tamaño máximo de 4.75 mm (Anexo M). La curva granulométrica del agregado utilizado se muestra en el gráfico 32.

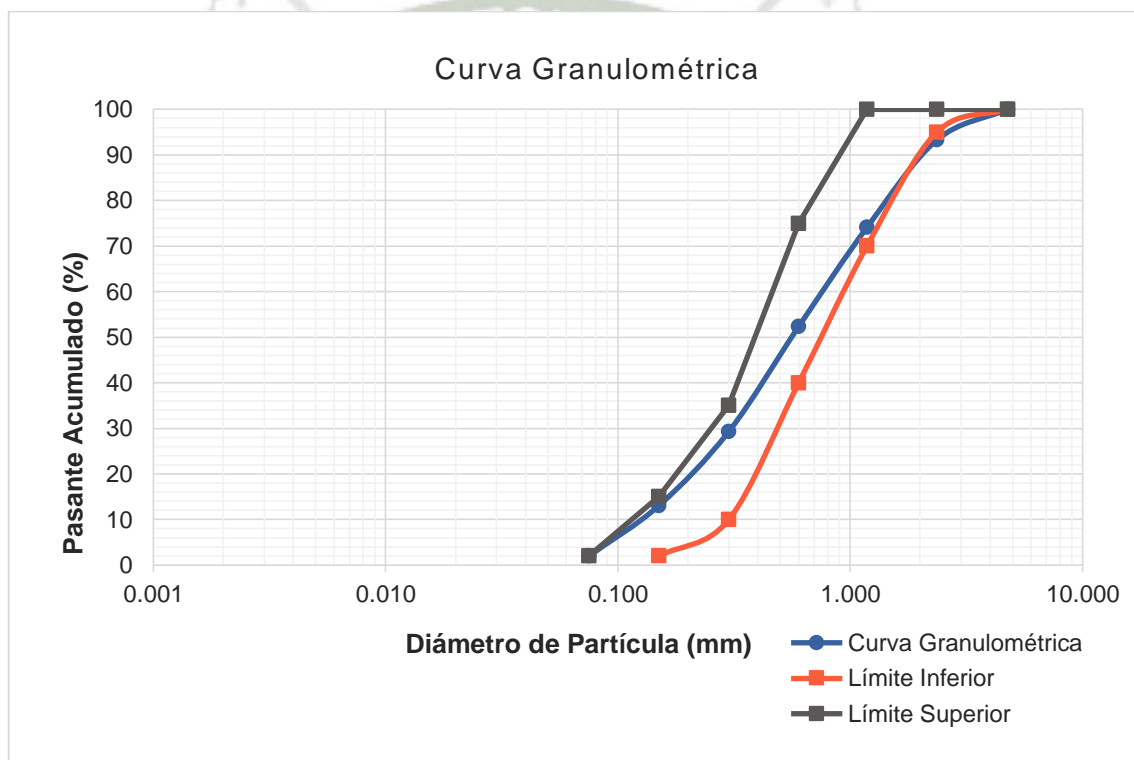


Gráfico 32: Curva granulométrica de la arena gruesa empleada en el mortero.

Como se puede observar en el gráfico 32, la arena gruesa empleada cumple con los límites establecidos por la norma entre el tamiz N° 200 y el tamiz N° 16. Es en el tamiz N° 8 donde el porcentaje pasante es de 93.28%, inferior al límite establecido de 95%, indicando que se tiene un mayor porcentaje de material retenido por dicha malla, del orden del 1.72%. Sin embargo dichas partículas no son superiores a 4.75 mm (tamiz N°4), no afectando a la trabajabilidad y resistencia del mortero.

c) Agua

El agua utilizada estuvo limpia y libre de sustancias deletéreas, ácidos, aceites, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial para el mortero.

9.1.3. Dosificación del mortero

Para la construcción de los especímenes se empleó una dosificación en proporción cemento – arena de 1:4. La mezcla de los componentes se realizó en proporciones volumétricas y en estado seco, para posteriormente añadirle agua hasta obtener una consistencia trabajable.

La norma E.070 establece el tipo de mortero en función a sus componentes, tal como se muestra en la tabla 56:

Tipos de mortero				
Tipo	Componentes			Usos
	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Tabla 56: Tipos de mortero en función a la dosificación de los componentes empleados. Fuente E.070

De acuerdo a la dosificación empleada, el mortero clasifica como Tipo P2, para uso en muro portante.

9.1.4. Ensayo de resistencia a la compresión del mortero

El mortero empleado en los primas, se sometió al ensayo de resistencia por compresión en cubos de mortero con dimensiones de 5 x 5 cm de lado, según la norma peruana NTP 334.051:2013.

Los resultados obtenidos del ensayo se muestran en la tabla 57 y en el gráfico 33, para edades de 14 y 21 días respectivamente. (Anexo N)

Edad (días)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
14	203.47
21	255.23

Tabla 57: Resistencia a compresión del mortero.

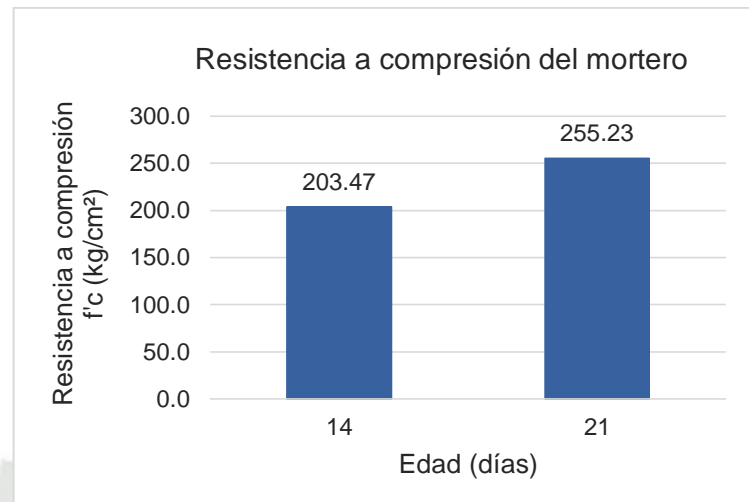


Gráfico 33: Resistencia a compresión del mortero en función a la edad.

Es notorio el incremento de la resistencia a la compresión conforme aumenta la edad de los especímenes. Dicho incremento es de 20.28% entre la resistencia a los 14 días y a los 21 días. A su vez, se puede apreciar que la resistencia del mortero es muy buena considerándose una proporción de cemento – arena de 1:4, dosificación tradicional utilizada para morteros en muros de albañilería.

No obstante, la resistencia a compresión no es la propiedad principal del mortero de albañilería, sino más bien es la adherencia.



Figura 67: Ensayo de resistencia a compresión en cubo de mortero.

## 9.2. Ensayo de adherencia al cizalle

Dado que Perú se encuentra en una zona de alto potencial sísmico, la propiedad fundamental del mortero empleado en albañilería es su adherencia con las unidades, básicamente la adherencia capaz de resistir esfuerzos de cizalle y tracción originados cuando el muro de albañilería es sometido a fuerzas horizontales, los mismos que provocan fallas por tracción ubicadas generalmente en donde la resistencia al cizalle es menor, es decir, en la interfase mortero – unidad.

La adherencia es el objetivo más importante del mortero de albañilería en estado endurecido; todas sus otras propiedades, incluida la resistencia, son incidentales. El mortero debe ser capaz de desarrollar la adherencia suficiente con las unidades y resistir los esfuerzos de tracción producidos por las cargas de la estructura, sismos y el viento, entre otras.

La adhesión del mortero con la unidad de albañilería es de naturaleza exclusivamente mecánica, y no molecular o electrostática. Proviene del anclaje de los cristales cementicios en los poros de la unidad, los cuales generan el engrape mecánico entre el mortero y la unidad. Esta propiedad depende principalmente de los siguientes factores:

- Componentes del mortero: contenido y tipo de cemento, arena y agua.
- Retentividad y trabajabilidad del mortero.
- Características de la unidad referidas a la succión, textura de la superficie de asiento, estructura y contenido de poros capilares.
- Calidad del proceso constructivo: presión de asentado y tiempo de colocación de las unidades.

Para inducir este tipo de falla por cizalle en la junta, se utiliza especímenes con esbelteces reducidas. La resistencia al corte por cizalle aumenta hasta cierto punto cuando aumenta la resistencia del mortero.

### 9.2.1. Componentes y descripción del equipo de ensayo

Para el ensayo se empleó una máquina de compresión universal Amsler, la cual fue acondicionada especialmente para permitir una correcta sujeción en los laterales del prisma, evitándose que se mueva durante el ensayo por acción de la carga aplicada. Se aplicó una velocidad de carga de 1 ton/min.

### 9.2.2. Construcción y preparación de especímenes

El ensayo de adherencia a cizalle tiene como objetivo determinar la adherencia entre el mortero y la unidad, al someter la junta entre ambos, a un esfuerzo de corte. Dado que no se cuenta con una normativa peruana para realizar el mismo, se siguió el procedimiento establecido en la Norma Chilena NCh167.Of2001.

Las probetas están formadas por tres unidades unidas con mortero, las cuales están especialmente ensambladas, ensayando dos juntas al mismo tiempo. Con el propósito de inducir la falla en las juntas de mortero, se adoptó la disposición de las unidades como se muestra en la figura 68.

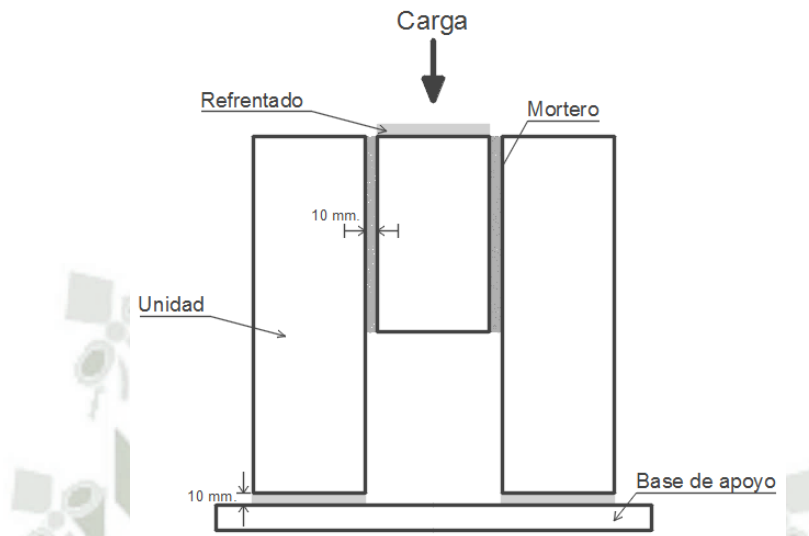


Figura 68: Esquema del ensayo de adherencia al cizalle.

La construcción de las probetas se realizó según el siguiente procedimiento:

- 1) Corte: Se realizó el corte con sierra de las unidades para un correcto ensamblaje de los primas. Para las unidades colocadas en los extremos, se retiró el machihembrado de la cara lateral que estaría en contacto con la base de apoyo. Para la unidad central se realizó un corte por la mitad, tal como se muestra en la figura 68.
- 2) Regado o saturación de las unidades: Las unidades se regaron durante media hora un día antes del asentado, para reducir la succión de las mismas.
- 3) Preparación del mortero: Se preparó el mortero con la dosificación cemento – arena en proporción 1:4; añadiendo agua hasta obtener una consistencia trabajable.
- 4) Asentado: Las probetas se construyeron en forma vertical, asentando las unidades una sobre otra y controlando la verticalidad con la plomada y la horizontalidad de la superficie. Asimismo, se controló un espesor de junta de mortero de 1 cm.  
Para evitar que una de las unidades externas se asiente debido al peso de la misma sobre la zona en que no se tenía unidad, se preparó un taco de madera de 11 cm, para que mantenga la horizontalidad de la misma hasta el día del ensayo.



Figura 69: Especímenes para el ensayo de adherencia por cizalle.

- 5) Curado: Se cubren y sellan las probetas con una bolsa plástica (polietileno) durante 7 días; después de este periodo, se retiró el polietileno y se dejó al ambiente del laboratorio hasta el momento del ensayo.
- 6) Refrentado: Se realizó el refrentado de los especímenes 48 horas antes del ensayo en las bases de apoyo (unidades externas) y en la cara de aplicación de la carga (unidad central) con una pasta de cemento – yeso en proporción 1:1 en peso, con una capa de refrentado no mayor a 10 mm.



Figura 70: Especímen colocado en la máquina de ensayo de adherencia por cizalle.

### 9.2.3. Ensayo de adherencia por cizalle

La adherencia al cizalle se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{P_{\text{máx}}}{A_b}$$

En la que:

- A = Adherencia (kg/cm<sup>2</sup>).
- P<sub>máx</sub> = Fuerza máxima (kg).
- A<sub>b</sub> = Área bruta total de las superficies en contacto (cm<sup>2</sup>).

El promedio de los valores individuales obtenidos es el que representa la resistencia de adherencia de las unidades.

La norma chilena NCh169.Of2001 establece ciertos valores mínimos de adherencia para la clasificación de las unidades cerámicas, que se muestra en la tabla 58.

Requisitos mecánicos	Grados						
	1			2		3	
	Clases						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión mín. (kg/cm <sup>2</sup> )	152 15 MPa	152 15 MPa	152 15 MPa	112 11 MPa	112 11 MPa	50 5 MPa	50 5 MPa
Absorción de agua máx. (%)	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia mín. (kg/cm <sup>2</sup> )	4.07 0.4 MPa	4.07 0.4 MPa	4.07 0.4 MPa	3.57 0.35 MPa	3.57 0.35 MPa	3.06 0.30 MPa	3.06 0.30 MPa

MqM : Ladrillos macizos hechos a máquina

MqP : Ladrillos perforados hechos a máquina

MqH : Ladrillos huecos hechos a máquina

Tabla 58: Características de los ladrillos cerámicos. Fuente NCh169.Of2001

Se considerará como referencia los valores mínimos de adherencia establecidos en la tabla 58 para conocer el comportamiento de las unidades ensayadas.

#### 9.2.4. Tipo de falla



*Figura 71: Falla por adherencia del espécimen 1.*

La falla presentada se da en la interfase del mortero, tanto superior como inferior, con la unidad. (Figura 71)



*Figura 72: Falla por adherencia del espécimen 2.*

Se produjo la falla en la interfaz superior del mortero, indicando que por la naturaleza misma del proceso de asentado, la unidad que recibe primero el mortero tiene una mejor adhesión. (Figura 72)



Figura 73: Falla por adherencia del espécimen 3.

Al igual que en el espécimen anterior, la falla se generó en la interfaz superior del mortero, mostrando la mejor adhesión que se genera en la interfaz inferior. (Figura 73)

#### 9.2.5. Resultados

La tabla 59 muestra los resultados obtenidos del ensayo de adherencia al cizalle:

Espécimen	Edad (días)	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Área bruta total de contacto (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Adherencia A (kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	21	177.50	355.00	1850	5.21
P-2	21	186.12	372.24	2200	5.91
P-3	21	186.02	372.04	2100	5.64

Promedio	A (prom.)	5.59
Desviación Estándar	$\sigma$	0.35

Adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )	5.24
----------------------------------	------

Tabla 59: Resultados del ensayo de adherencia al cizalle.

La norma chilena NCh 169.Of2001, establece como requisito mínimo de adherencia, un valor de 4.07 kg/cm<sup>2</sup> (0.4 MPa), el cual es el más alto exigido. Por lo tanto podemos concluir que las unidades cumplen satisfactoriamente con la norma chilena.

El valor de la adhesión, al depender de la formación de cristales producto de la hidratación del cemento, aumenta conforme aumenta la resistencia del mortero, con la edad. Dado que los especímenes se ensayaron a los 21 días, generaron un menor valor

al que se obtendría al ensayarlos a los 28 días, sin embargo, no se aplicó ningún factor de corrección por edad, como es el caso de los prismas de albañilería.

El valor obtenido, de  $5.24 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.51 \text{ MPa}$ ) se considera uno de los más altos, incluso para dosificaciones mayores de cemento – cal – arena de 1:0:3, indicando que la succión de la unidad al momento del asentado es del orden aproximado de  $12 \text{ g}/(200 \text{ cm}^2\text{-min})$  para la dosificación empleada. (Figura 74)

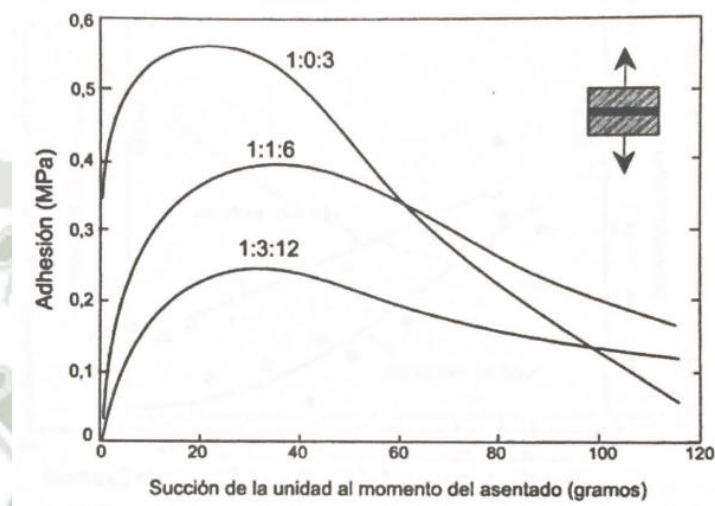


Figura 74: Adhesión vs proporción del mortero y succión. Fuente Gallegos & Casabonne

El contenido de poros capilares visibles propios de las unidades extruidas y la porosidad añadida producto de la inclusión de poliestireno en la masa, han permitido obtener un valor de adhesión alto, además de la succión de la unidad y del contenido de cemento y agua en el mortero.

En este tipo de unidad machihembrada, es importante generar una buena adherencia en el mortero de las juntas horizontales, puesto que la ausencia de mortero en juntas verticales, reducirá significativamente la resistencia al corte de la albañilería.

### 9.3. Ensayo a Compresión Axial en Pilas

El ensayo de compresión en pilas de albañilería sirve para determinar la resistencia característica a compresión axial ( $f'm$ ) de la albañilería en referencia al área neta de la sección transversal. Si se registra la deformación axial de la pila, puede determinarse el módulo de elasticidad de la albañilería  $E_m$ .

#### 9.3.1. Componentes y descripción del equipo de ensayo

El espécimen para determinar la resistencia a compresión de la albañilería consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra, al cual se le aplica una carga de compresión axial perpendicular a la superficie de asiento. El ensayo se realizó conforme lo descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 399.605:2013.

El ensayo se realizó en una maquina universal de compresión calibrada, aplicando carga a un ritmo controlado con una velocidad de ensayo de 10 ton/min.

#### 9.3.2. Construcción y preparación de especímenes

Para la construcción de las pilas se empleó mortero con la dosificación de cemento – arena en proporción 1:4, de espesor de junta igual a 1 cm. La pila constará de 3 unidades de albañilería asentadas de soga una encima de otra, empleando la técnica constructiva y mano de obra representativa.

Se construyeron 3 pilas, las cuales fueron ensayadas a los 14 días de edad. Se optó por no remover el machihembrado lateral de las unidades, a fin de no generar alguna posible fisura interna en la unidad durante el proceso de corte.

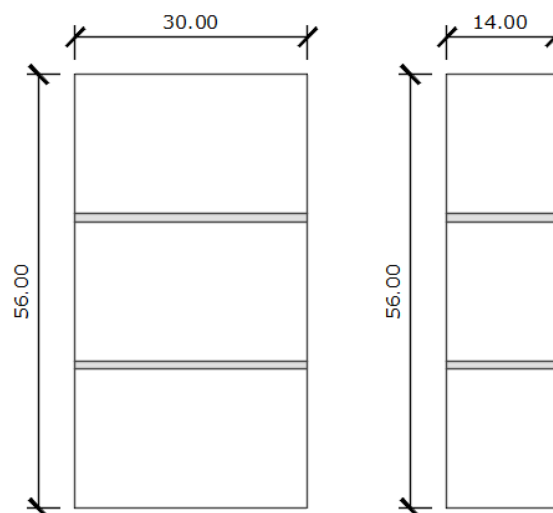


Figura 75: Esquema de pilas de bloques de termoarcilla.

La construcción de las pilas se realizó conforme se detalla:

1. Limpieza de las unidades de cualquier sustancia ajena adherida a las mismas.

2. Saturación de las unidades, regándolas durante media hora un día antes del asentado, a fin de reducir la succión y la excesiva absorción de agua de mortero durante el asentado.
3. Nivelación de la superficie de asentado, en la cual se construyeron las pilas controlando su verticalidad con la plomada y su altura con un escantillón.



*Figura 76: Control de la horizontalidad de la pila.*

4. Se cubrió con polietileno las pilas durante los primeros 14 días. Pasado dicho tiempo, se retiró el polietileno y quedaron expuestas al ambiente del laboratorio hasta el día del ensayo.
5. Antes de ensayar las pilas (48 horas previas), se colocó un refrentado de cemento – yeso de aproximadamente 3 mm de espesor, tanto en la parte inferior como superior para uniformizar la superficie de contacto de los prismas con el cabezal del equipo de ensayo.



*Figura 77: Pilas formadas por bloques de termoarcilla.*

### 9.3.3. Ensayo de resistencia a compresión axial

La resistencia a compresión axial de cada pila  $f_m$  resulta de la división de la carga última entre el área neta de la unidad, tal como se indica:

$$f_m = \frac{P_{\max}}{\text{Área}}$$

Donde:

- $f_m$  = Resistencia a compresión axial ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $P_{\max}$  = Fuerza máxima de resistencia a compresión de la pila (kg).
- Área = Área neta de la sección transversal ( $\text{cm}^2$ ).

La Norma Técnica Peruana NTP 399.605:2013 estipula que el valor obtenido de  $f_m$  sea corregido con el factor de corrección por esbeltez de la pila (relación altura/espesor), mostrado en la tabla 60:

Factores de Corrección de $f'_m$ por esbeltez 2013							
Esbeltez	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

Tabla 60: Factores de corrección de  $f'_m$  por esbeltez. Fuente NTP 399.605

Además, si la edad de las pilas es diferente a la estándar (28 días), se corrige por el factor indicado en la tabla:

Incremento de $f'_m$ y $v'_m$ por edad			
Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla	1.15	1.05
	Bloques de concreto	1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de arcilla y bloques de concreto	1.10	1.00

Tabla 61: Incremento de  $f'_m$  y  $v'_m$  por edad. Fuente Norma E.070

Una vez ensayadas todas las pilas, se obtiene el valor promedio de  $f_m$  y la desviación estándar de la muestra ensayada. La resistencia característica a compresión de la albañilería  $f'_m$  se obtiene al restar la desviación estándar a la resistencia promedio:

$$f'_m = f_m - \sigma$$

Donde:

- $f'_m$  = Resistencia característica a compresión de la albañilería ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $f_m$  = Resistencia a compresión axial de la albañilería ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $\sigma$  = Desviación estándar.

### Cálculo del módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad de la albañilería se necesita conocer el gráfico esfuerzo – deformación unitaria en compresión.

Para ello se dispuso colocar en la máquina universal de compresión un dispositivo que permitió registrar el incremento de la deformación a medida que se aplicó el esfuerzo de compresión, graficándolo en una hoja milimetrada.

Para el cálculo del módulo de elasticidad, se escogió el tramo correspondiente a la zona elástica de la gráfica que representase el comportamiento lineal del elemento, comprendido usualmente entre el 15% y 50% de la carga de rotura.

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

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$$

$$Em = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Donde:

- $\Delta\sigma$  = Esfuerzo axial en el tramo elástico ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $\Delta P$  = Incremento de la fuerza en el tramo que representa el comportamiento elástico (kg).
- $A$  = Área bruta de la sección transversal de la pila ( $\text{m}^2$ ).
- $\Delta\varepsilon$  = Deformación unitaria asociada a  $\Delta P$ .
- $\Delta D$  = Incremento del desplazamiento en el rango elástico (mm).
- $L$  = Distancia entre los centros de las unidades superior e inferior (mm).
- $Em$  = Modulo de Elasticidad ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Dado que el cálculo del módulo de elasticidad en albañilería no está comprendido en ninguna NTP, se procedió a realizar el ensayo conforme a las recomendaciones de la norma ASTM C469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

#### 9.3.4. Tipo de falla

Para las tres pilas, la forma de falla se manifiesta con la aparición de las primeras grietas verticales en el centro del prisma y alejadas de los cabezales de carga.

Este agrietamiento vertical atraviesa tanto los bloques como el mortero, evidenciando una falla ideal producida por tracción debido a la expansión lateral del mortero, generada por la carga de compresión aplicada.

Cuando se alcanzó el 90% de la carga última, se presentaron fracturas de desprendimiento del material debido a la alta carga de compresión a la que fue sometida la pila.



*Figura 78: Falla por compresión axial en pila P-1.*



*Figura 79: Falla por compresión axial en pila P-2.*



Figura 80: Falla por compresión axial en pila P-3.

### 9.3.5. Resultados de resistencia a compresión axial en pilas

Los resultados del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería serán procesados según el apartado 9.3.3. y teniendo como referencia a la NTP 399.605:2013.

Se muestra en la tabla 62 los resultados obtenidos del ensayo de compresión axial en pilas de albañilería, empleando el bloque de termoarcilla Diseño BD2 y el mortero especificado en el acápite 9.1. El detalle de los cálculos y características de la pila se detallan en el anexo O.

Espécimen	Edad (días)	Área neta (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión fm (kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	14	253.70	40100	201.74
P-2	14	248.10	38000	195.48
P-3	14	250.90	38800	195.57

Promedio	fm (prom.)	197.60
Desviación Estándar	$\Sigma$	3.59

f'm característica (kg/cm <sup>2</sup> )	194.01
------------------------------------------	--------

Tabla 62: Resultados del ensayo a compresión en pilas de bloques de termoarcilla

La resistencia característica a compresión de la albañilería para el diseño BD2 es de  $194.01 \text{ kg/cm}^2$ . Este resultado cumple satisfactoriamente con un valor mayor al indicado en la norma E.070 Albañilería, de  $65 \text{ kg/cm}^2$  para el ladrillo King Kong Industrial de arcilla, siendo la unidad que mayor similitud podría tener con el bloque propuesto, por la materia prima usada para su elaboración y la técnica de elaboración empleada.

La resistencia característica de la unidad propuesta tiene un valor de aproximadamente tres veces mayor que el ladrillo King Kong industrial tradicional. Es importante resaltar que el valor indicado en la norma E.070 para dicho ladrillo es en función al área bruta de la unidad.

### 9.3.6. Resultados del módulo de elasticidad

Se muestran los resultados obtenidos para el cálculo del módulo de elasticidad para las tres pilas ensayadas. (Anexo P)

- Pila P – 1

El gráfico 34 muestra el incremento de la deformación unitaria a medida que aumenta el esfuerzo en la pila. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 63.

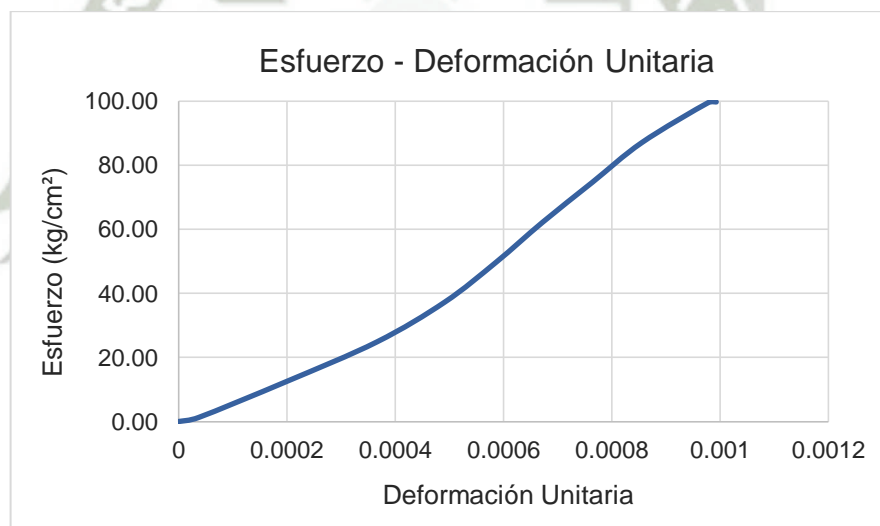


Gráfico 34: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 1.

Espécimen	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	P <sub>máx</sub> (kg)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\varepsilon$	E <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
P - 1	401.8	360	40100	34.93	0.000355	98449.17

Tabla 63: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 1.

- Pila P – 2

El gráfico 35 muestra el incremento de la deformación unitaria a medida que aumenta el esfuerzo en la pila. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 64.

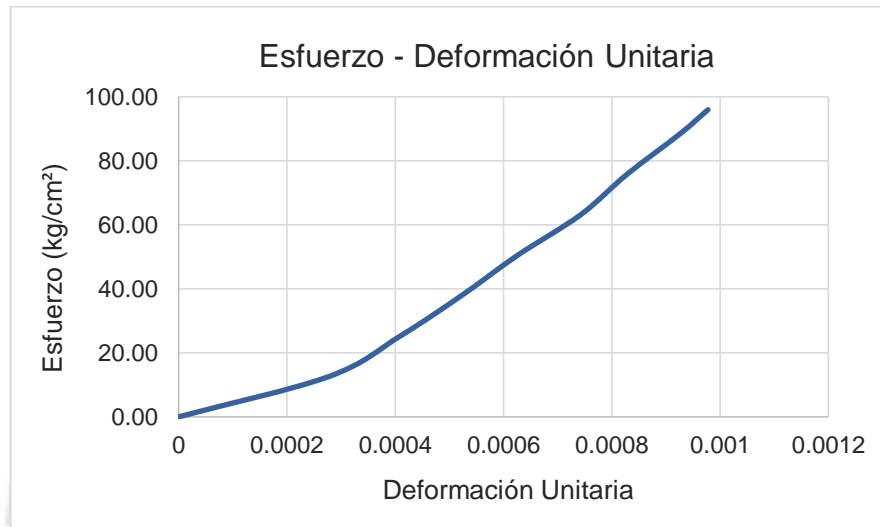


Gráfico 35: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 2.

Espécimen	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmáx (kg)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\varepsilon$	Em (kg/cm <sup>2</sup> )
P - 2	396.15	360	38000	33.57	0.000309	108592.37

Tabla 64: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 2.

- Pila P – 3

El gráfico 36 muestra el incremento de la deformación unitaria a medida que aumenta el esfuerzo en la pila. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 65.

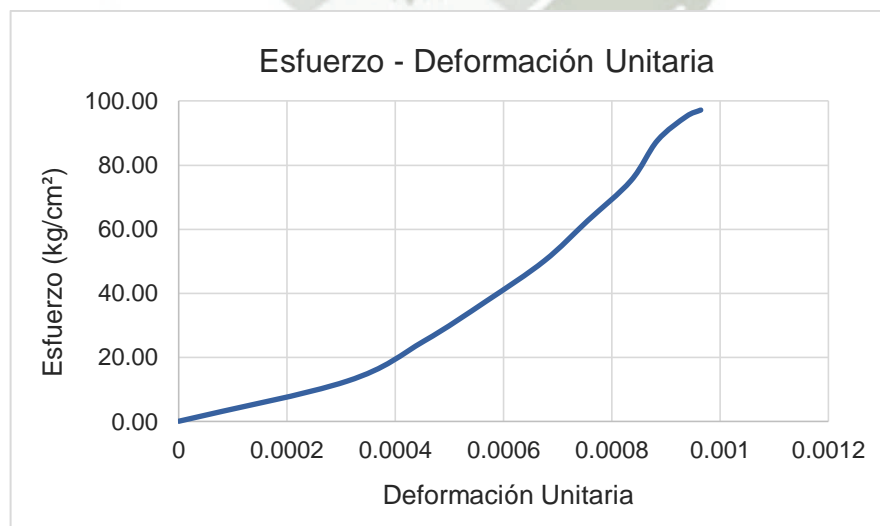


Gráfico 36: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 3.

Espécimen	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	P <sub>máx</sub> (kg)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\varepsilon$	Em (kg/cm <sup>2</sup> )
P - 3	399.15	360	38800	34.02	0.000328	103629.98

Tabla 65: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 3.

En la tabla 66 se observa el valor promedio para el módulo de elasticidad (Em), calculado a partir de los desplazamientos axiales registrados.

Espécimen	Carga máxima (kg)	f <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Em (kg/cm <sup>2</sup> )	Em prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
P - 1	40100	201.74	98449.17	103557.17
P - 2	38000	195.48	108592.37	
P - 3	38800	195.57	103629.98	

Tabla 66: Módulo de elasticidad promedio.

Debe indicarse que en la norma E.070 se especifica emplear para unidades de arcilla un módulo  $E_m = 500 f_m$ , valor que resultó similar al hallado en el ensayo con un valor de  $E_m = 103557.17 \text{ kg/cm}^2$ , correspondiendo a  $E_m = 534 f_m$ . Sin embargo, dichos resultados se han hallado en función al área bruta de los especímenes, puesto que si se realizaba en función al área neta, se obtenía un módulo de elasticidad superior a  $160000 \text{ kg/cm}^2$ . Se optó por considerar el valor más crítico, el cual consideraba el área bruta del espécimen.

## 9.4. Ensayo a Compresión Diagonal en Muretes

El ensayo de corte o compresión diagonal permite determinar la resistencia al corte de la albañilería, en donde el espécimen presenta una forma de falla similar a la falla presentada en ciertos muros ante acciones sísmicas, cuando es sometida a una carga de compresión diagonal en el ensayo.

### 9.4.1. Componentes y descripción del equipo de ensayo

El ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la Norma Técnica Peruana NTP 399.621:2015. En ella se establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión diagonal en muretes de albañilería, mediante la aplicación de una carga de compresión a lo largo de una diagonal del murete, generando así una falla por tracción diagonal representada en una fisura en la dirección paralela a la aplicación de la carga.

El aparato utilizado para desarrollar este ensayo, está formado por dos elementos fundamentales: el marco rígido, el cual es una estructura de acero (figura 81) capaz de soportar la carga aplicada al espécimen, sin sufrir deformaciones ni alterar la distribución o dirección de la fuerza, y los instrumentos de aplicación y registro de carga, los cuales se incorporan al marco rígido. La fuerza máxima se registró a través de la celda de carga conectada mediante cables a un sistema computacional. La velocidad del ensayo fue de 5 ton/min.

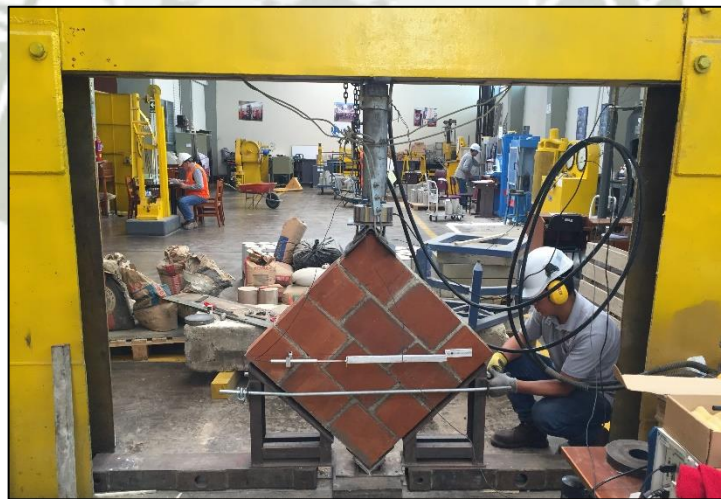


Figura 81: Equipo de ensayo para compresión diagonal en muretes.

Adicionalmente, en el ensayo se utilizaron 2 LVDT colocados en las diagonales del murete con el objeto de medir la deformación angular y con ella calcular el módulo de corte  $G_m$  de la albañilería.

#### 9.4.2. Construcción y preparación de especímenes

En la construcción de los muretes se empleó la misma dosificación en el mortero que el empleado en las pilas, manteniendo un espesor de junta igual a 1 cm.

Se construyeron 3 muretes para cada técnica constructiva (con y sin junta vertical de mortero), manteniendo la misma técnica constructiva y mano de obra que la empleada en la construcción de las pilas.

Las dimensiones de los muretes fue la misma para todos, con dimensiones promedio de 76 cm de largo, 76 cm de alto y 14 cm de espesor.

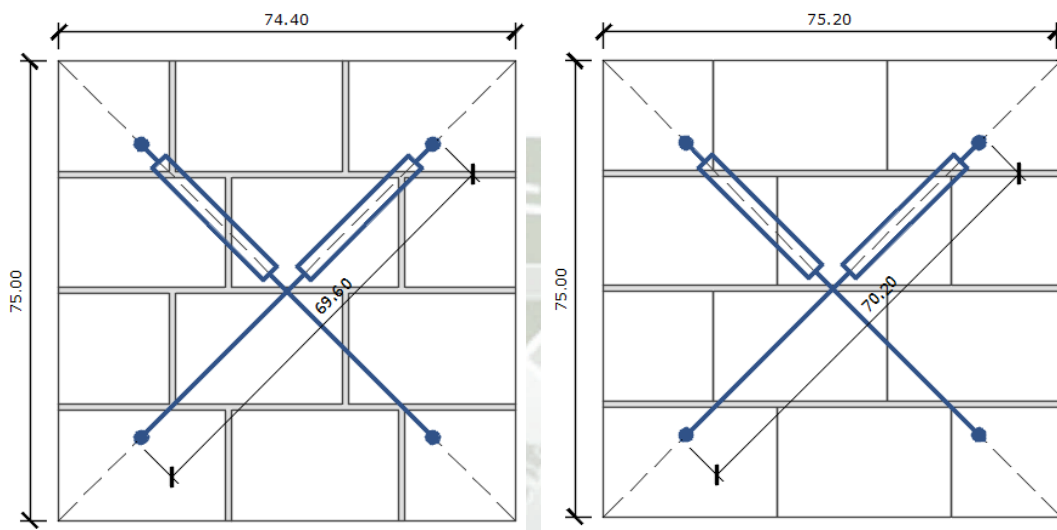


Figura 82: Esquema de murete con junta vertical de mortero (izquierda) y murete con junta vertical machihembrada (derecha).

Los muretes constaron de 4 hiladas asentadas en un aparejo de sogá, tanto para los muretes confeccionados con unidades sin machihembrado y con junta vertical de mortero enumerados con las siglas M1, M2 Y M3; como para los muretes hechos con unidades machihembradas y sin junta vertical de mortero M1\*, M2\*, M3\*, ensayándose un total de 6 muretes.

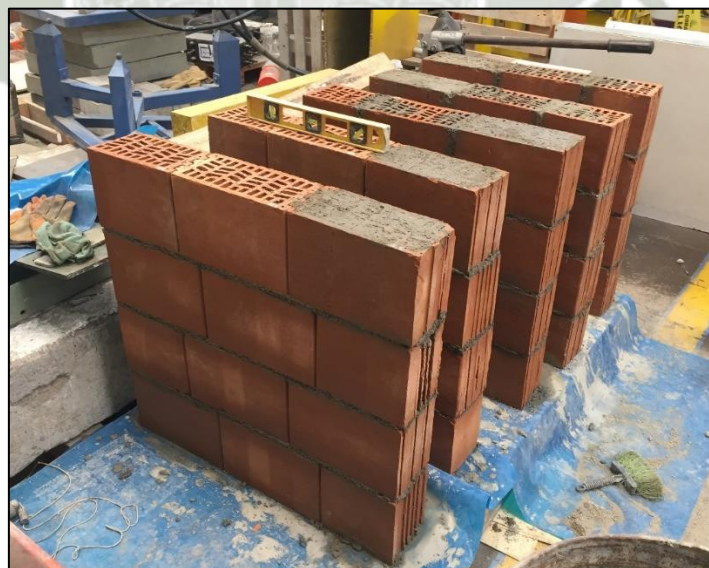
La construcción de los muretes se realizó de la siguiente manera:

1. Las unidades se limpiaron para que estén libres de cualquier material ajeno adherido.
2. Se saturó las unidades regándolas durante media hora un día antes del asentado.
3. Luego de nivelada la superficie sobre la que se construyeron los muretes, se asentaron los bloques maestros, los cuales definieron el alineamiento y la longitud del murete. A su vez, se controló la verticalidad con la plomada y la altura con un escantillón.



*Figura 83: Control de la verticalidad del murete.*

4. Para las unidades sin machihembrado (muretes M1, M2 y M3) se colocó mortero tanto en las juntas horizontales como verticales; para aquellas que si tenían machihembrado (M1\*, M2\*, M3\*) sólo se colocó mortero en la junta horizontal de acuerdo al formato especial de las unidades.
5. Para evitar una falla local en las unidades que estarán en contacto con las escuadras de carga durante el ensayo, se rellenaron con mortero de cemento – arena en proporción 1:3, tal como lo estipula la norma.
6. Se cubrieron con polietileno los muretes durante los primeros 14 días. Transcurrido ese periodo, se retiró el polietileno, dejándolos expuestos al ambiente del laboratorio hasta el día del ensayo.
7. Se colocó un refrentado de cemento – yeso en proporción 1:1 en las esquinas opuestas con la finalidad de uniformizar la superficie de contacto con los cabezales del equipo de ensayo.



*Figura 84: Muretes construidos con y sin junta vertical de mortero.*

#### 9.4.3. Ensayo de resistencia a compresión diagonal

La resistencia a corte puro resultó de dividir la carga de rotura (carga máxima) entre el área bruta de la diagonal cargada del murete, obtenido de la siguiente fórmula:

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d}$$

En la que:

- $v_m$  = Resistencia al corte puro ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $P_{m\acute{a}x}$  = Fuerza máxima resistida por el murete (kg).
- $A_d$  = Área diagonal del murete ( $\text{cm}^2$ ) calculada como:

$$A_d = \text{longitud diagonal} \times \text{espesor}$$

La resistencia característica a corte puro de la albañilería ( $v'_m$ ) se obtuvo restando la desviación estándar a la resistencia a corte puro promedio de los muretes ensayados, la cual será:

$$v'_m = v_m - \sigma$$

Dado que los ensayos se realizaron a una edad de 21 días, fue necesario corregirlos por el factor correspondiente a la edad del espécimen indicada en la tabla 61.

De acuerdo a la norma E.070, para fines de diseño deberá aplicarse:

$$v'_m \leq \sqrt{f'_m}$$

#### Cálculo del módulo de corte

Para el cálculo del módulo de corte de la albañilería, se dispuso la colocación de dos instrumentos LVDT en las diagonales principales, los cuales permiten medir la deformación en ambas diagonales del murete.

Durante el ensayo, se registra la gráfica carga – deformación captada por cada instrumento y, al alcanzar el 60% de la carga de rotura estimada, se retiran los LVDT para evitar que no se dañen durante la falla del murete.

Par calcular  $G_m$ , se escogió el tramo correspondiente a la zona elástica de la gráfica que representase el comportamiento lineal del elemento sometido a esfuerzos cortantes. Esta porción de la gráfica está comprendida entre el 10% y 50% de la carga de rotura.

Las bases de los instrumentos se colocaron en la parte intermedia de las unidades, considerando una distancia entre las bases de 70 cm. Los LVDT se identificaron respectivamente como Horizontal y Vertical de acuerdo a su ubicación en el murete como se muestra en la figura 85. Los valores de la deformación unitaria total se consideró como la suma de las deformaciones vertical y horizontal.



Figura 85: Sensor LVDT vertical (izquierda) y LVDT horizontal (derecha).

Se obtuvo el módulo de corte  $G_m$  de cada murete mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta P}{A_d}$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$$

Donde

- $\Delta\tau$  = Esfuerzo cortante ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $\Delta P$  = Incremento de la fuerza en la zona elástica (kg).
- $A_d$  = Área bruta de la diagonal cargada ( $\text{cm}^2$ ).
- $\Delta\varepsilon$  = Deformación Unitaria asociada a  $\Delta P$  de cada LVDT, tanto vertical como horizontal.
- $\Delta D$  = Incremento del desplazamiento en el rango elástico (mm).
- $L$  = Distancia entre las bases del LVDT (mm).

Y la deformación angular está dada por la suma de las deformaciones unitarias registradas por cada LVDT:

$$\Delta\gamma = \Delta\varepsilon_v + \Delta\varepsilon_h$$

Con lo cual:

$$G_m = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

Los valores  $G_m$  calculados para cada murete se promedian para así obtener el valor  $G_m$  correspondiente a la muestra ensayada.

#### 9.4.4. Tipo de falla

El modo de falla predominante para los muretes en los que se empleó mortero tanto para la junta vertical como para la horizontal es diagonal, en donde la falla por tracción se generó a lo largo de la diagonal del espécimen, atravesando las unidades y el mortero, indicando una óptima adhesión entre la unidad y el mortero (muretes M1, M2 y M3).

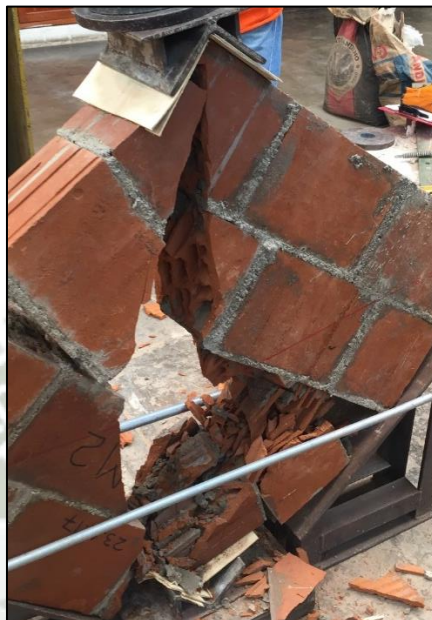
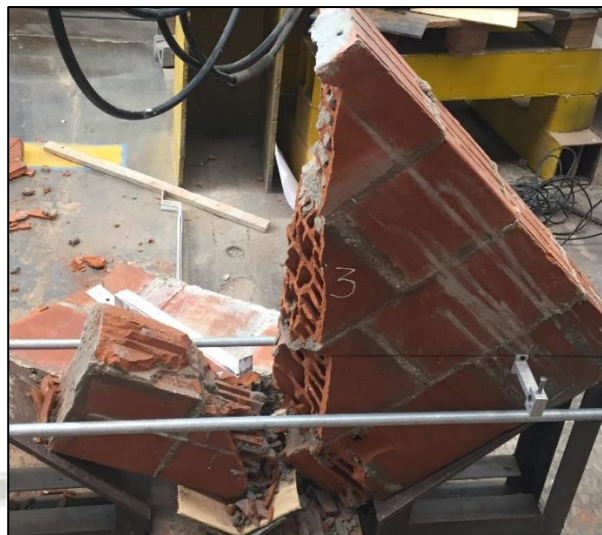


Figura 86: Falla mixta en murete M – 1.



Figura 87: Falla diagonal en murete M – 2.



*Figura 88: Falla diagonal en murete M – 3.*

En el caso de los muretes que solo contaron con junta horizontal de mortero y se mantuvo el machihembrado lateral de las unidades, se originó una falla escalonada. Es por ello, que las unidades de albañilería resultaron intactas en su mayoría, fallando las juntas antes que la unidad por sí misma (muretes M1\*, M2\* y M3\*).



*Figura 89: Falla escalonada en murete M – 1\*.*



Figura 90: Falla escalonada en murete M - 2\*.



Figura 91: Falla escalonada en murete M - 3\*.

#### 9.4.5. Resultados de compresión diagonal en muretes

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión diagonal en muretes de albañilería serán procesados según el apartado 9.4.3. y teniendo como referencia a la NTP 399.621:2004.

- Ensayo en muretes de bloque de termoarcilla con mortero en junta vertical y horizontal.

En la tabla 67 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal (corte) en muretes de albañilería, empleando el bloque de termoarcilla Diseño BD2 con

mortero tradicional en la junta vertical y horizontal. Los especímenes elaborados con mortero en la junta vertical (JV) y en la junta horizontal (JH) tienen la numeración M1, M2 y M3. El detalle de los cálculos se adjunta en el anexo Q.

Especímen	Condición	Edad (días)	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a corte (kg/cm <sup>2</sup> )
M-1	JV + JH	21	1488.90	24900	17.56
M-2	JV + JH	21	1484.92	25000	17.68
M-3	JV + JH	21	1482.95	25400	17.99

Promedio	vm (prom.)	17.74
Desviación Estándar	$\sigma$	0.22

v'm característica (kg/cm <sup>2</sup> )	17.52
------------------------------------------	-------

Tabla 67: Resultados de ensayo a compresión diagonal en muretes con junta vertical y horizontal de mortero.

- Ensayo en muretes de bloque de termoarcilla con junta machihembrada vertical y mortero en junta horizontal.

Se muestra en la tabla 68 los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal (corte) en muretes de albañilería, empleando el bloque de termoarcilla Diseño BD2 con junta machihembrada vertical y para las juntas horizontales se empleó el mortero tradicional. Los especímenes elaborados con junta vertical machihembrada y mortero en la junta horizontal (JH) tienen la numeración M1\*, M2\* y M3\*. El detalle de los cálculos se adjunta en el anexo Q.

Especímen	Condición	Edad (días)	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a corte (kg/cm <sup>2</sup> )
M-1*	JH	21	1489.88	11900	8.39
M-2*	JH	21	1484.15	11850	8.38
M-3*	JH	21	1479.98	11700	8.31

Promedio	vm (prom.)	8.36
Desviación Estándar	$\sigma$	0.05

v'm característica (kg/cm <sup>2</sup> )	8.31
------------------------------------------	------

Tabla 68: Resultados de ensayo a compresión diagonal en muretes con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero.

En el gráfico 37 se detalla el comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería empleando junta horizontal y vertical con mortero y empleando bloques de termoarcilla con junta vertical machihembrada y sólo

junta horizontal de mortero. A su vez, se incluye el valor dado por la norma E.070 Albañilería para ladrillos king kong industrial de arcilla.

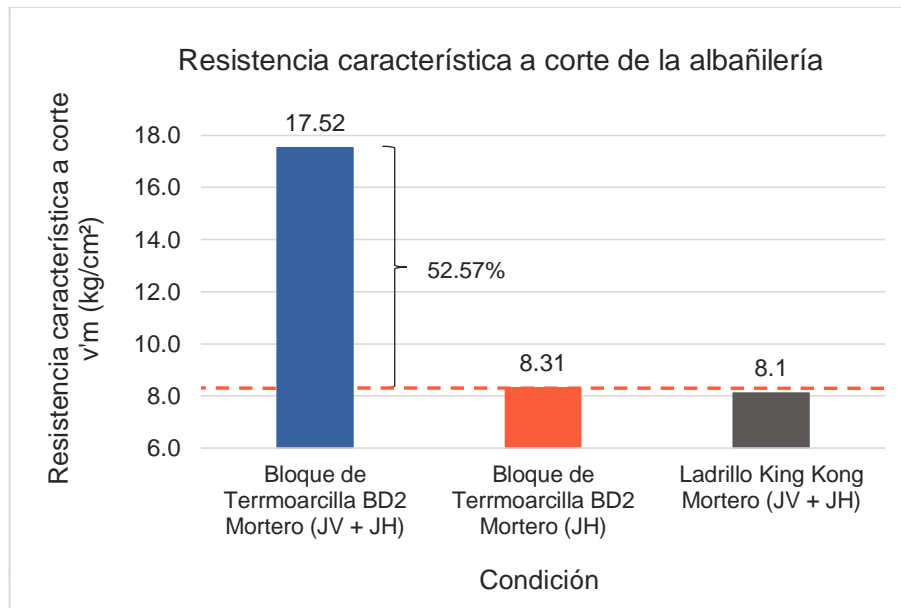


Gráfico 37: Comparación de la resistencia característica a corte de la albañilería.

Se observa que se ha tenido una reducción del 52.57% de la resistencia a corte cuando sólo se emplea mortero en las juntas horizontales y se mantiene el machihembrado lateral de las unidades, cuya resistencia es de 8.31 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, debido al buen comportamiento y las características propias de la unidad diseñada, dicho valor sigue siendo mayor al contemplado por la norma E.070 para ladrillos King Kong, el cual se fija en 8.10 kg/cm<sup>2</sup> y considera juntas verticales y horizontales con mortero.

Sin embargo, con fines de diseño estructural, la norma E.070 obliga a que se adopte un valor de  $v'm \leq \sqrt{f'm} = \sqrt{194.01} = 13.93$  kg/cm<sup>2</sup> para el caso del muro con junta vertical y horizontal de mortero, mientras que para el muro con junta vertical machihembrada, se consideraría el valor obtenido directamente del ensayo, de 8.31 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 9.4.6. Resultados del módulo de corte

De los resultados obtenidos se muestran las curvas que representan la variación de la deformación unitaria en los LVDT horizontal y vertical asociada al esfuerzo cortante aplicado en el espécimen. Los valores de los cálculos realizados para la determinación del módulo de corte para cada murete se indican en el anexo R.

##### 9.4.6.1. Muretes de bloque de termoarcilla con junta vertical y horizontal de mortero

- Murete M – 1

El gráfico 38 y 39 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

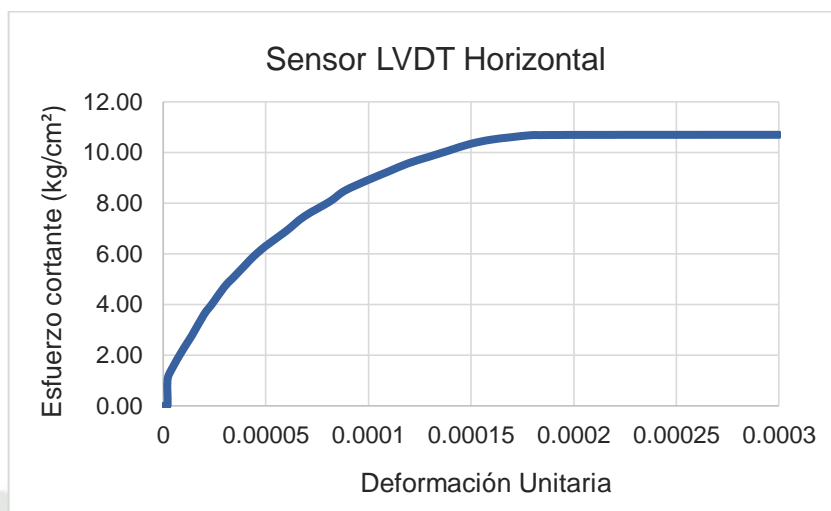


Gráfico 38: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 1.

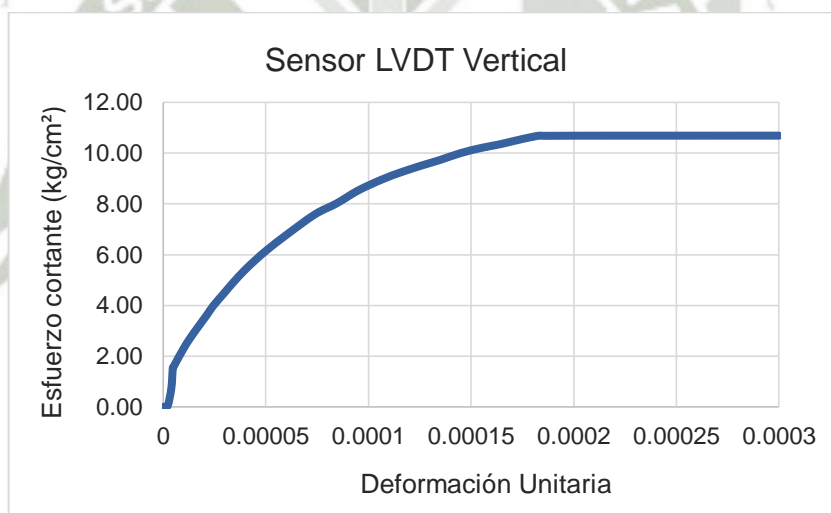


Gráfico 39: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 1.

Según los gráficos 38 y 39, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 1 es:

Especimen	Área diagonal (cm²)	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm²)	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm²)
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 1	1488.9	703.50	24900	6.69	0.0001547	43254.09

Tabla 69: Módulo de corte del murete M – 1.

- Murete M – 2

El gráfico 40 y 41 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

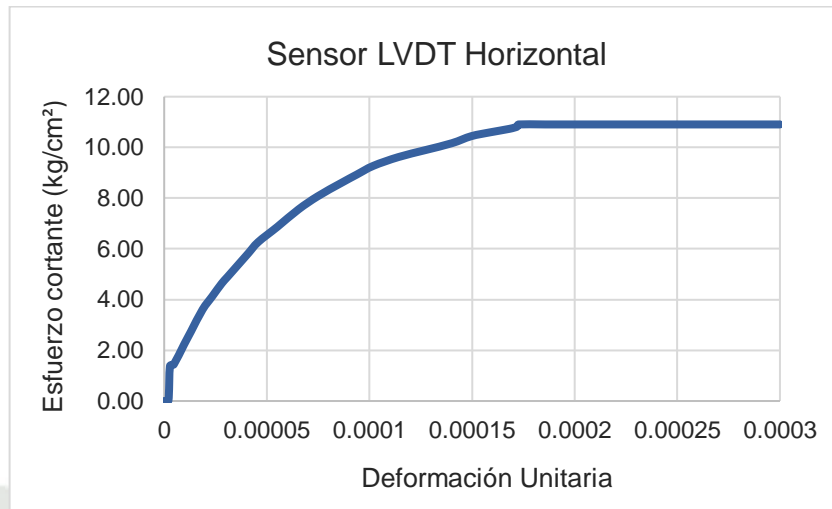


Gráfico 40: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 2.

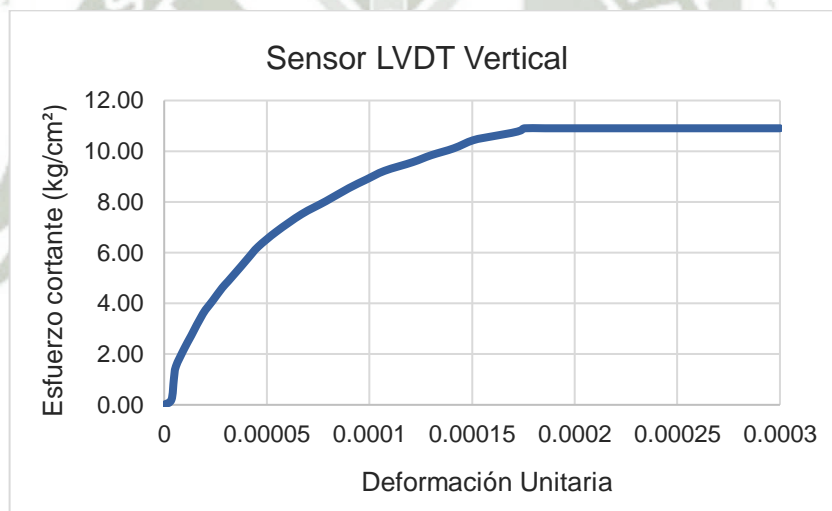


Gráfico 41: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 2.

Según los gráficos 40 y 41, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 2 es:

Especimen	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 2	1484.92	700.66	25000	6.73	0.0001684	39987.33

Tabla 70: Módulo de corte del murete M – 2.

- Murete M – 3

El gráfico 42 y 43 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

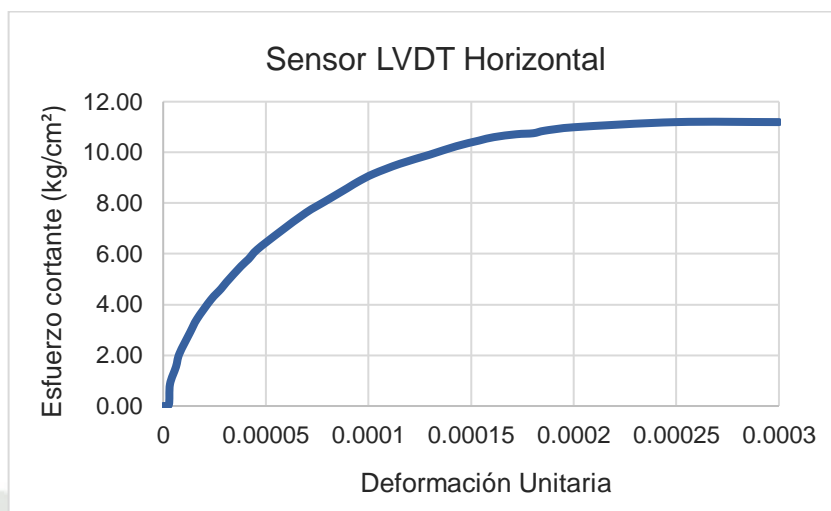


Gráfico 42: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 3.

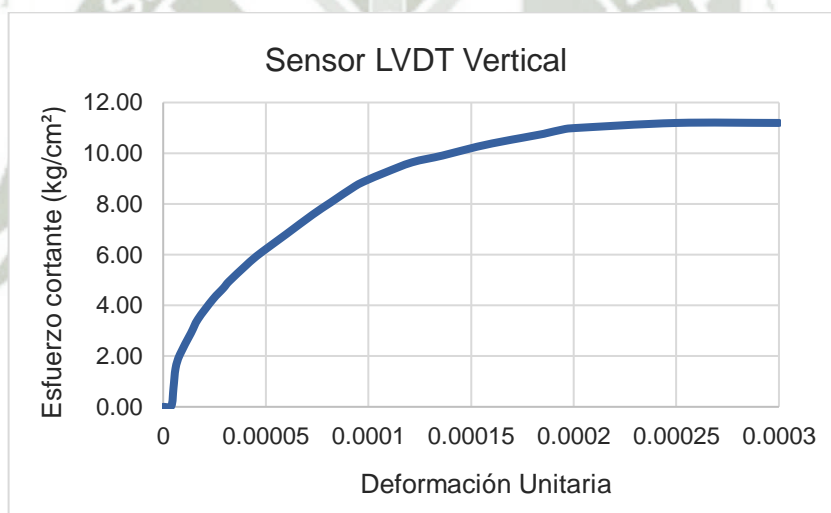


Gráfico 43: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 3.

Según los gráficos 42 y 43, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 3 es:

Especimen	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 3	1482.95	699.25	25400	6.85	0.0001666	41118.24

Tabla 71: Módulo de corte del murete M – 3.

9.4.6.2. Muretes de bloque de termoarcilla con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero

- Murete M – 1\*

El gráfico 44 y 45 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

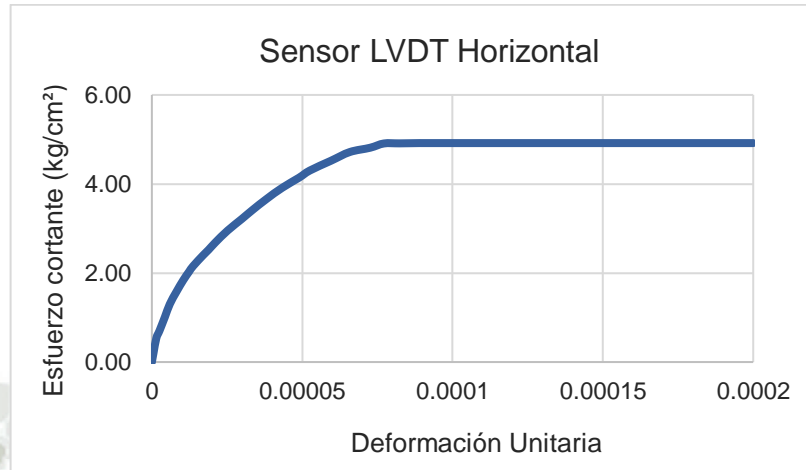


Gráfico 44: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 1\*.

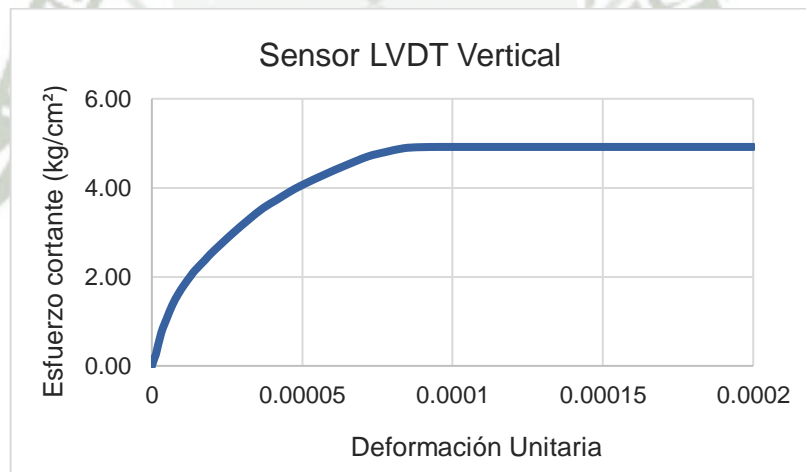


Gráfico 45: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 1\*.

Según los gráficos 44 y 45, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 1\* es:

Especimen	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 1*	1489.88	704.20	11900	3.19	0.0000869	36768.19

Tabla 72: Módulo de corte del murete M – 1\*.

- Murete M – 2\*

El gráfico 46 y 47 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

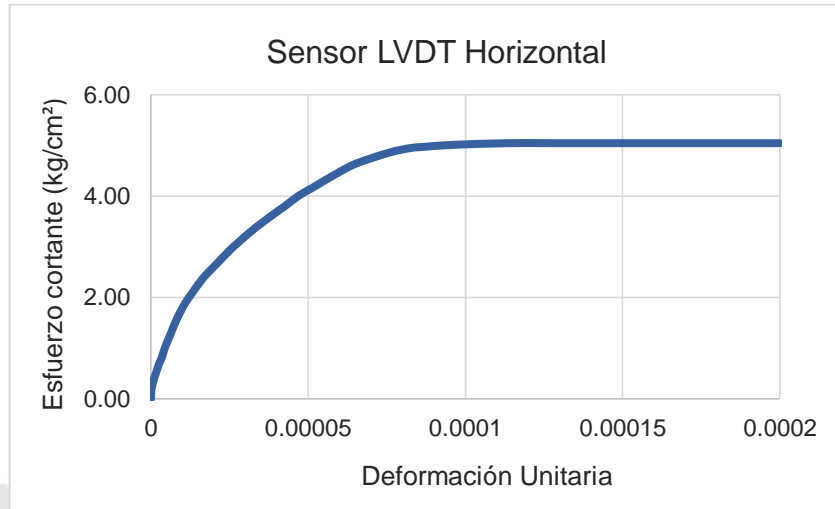


Gráfico 46: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 2\*.

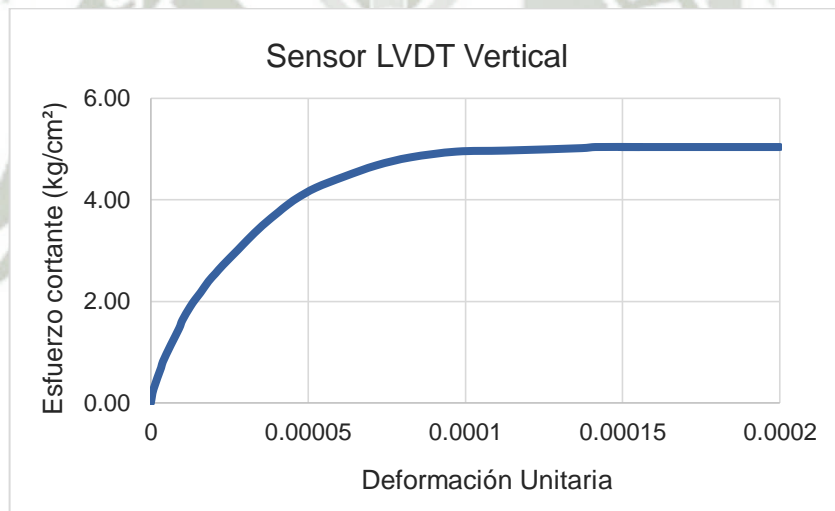


Gráfico 47: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 2\*.

Según los gráficos 46 y 47, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 2\* es:

Especimen	Área diagonal (cm²)	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm²)	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm²)
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 2*	1484.15	707.73	11850	3.19	0.0000851	37546.76

Tabla 73: Módulo de corte del murete M – 2\*.

- Murete M – 3\*

El gráfico 48 y 49 esquematizan el incremento de la deformación unitaria horizontal y vertical correspondiente al esfuerzo aplicado.

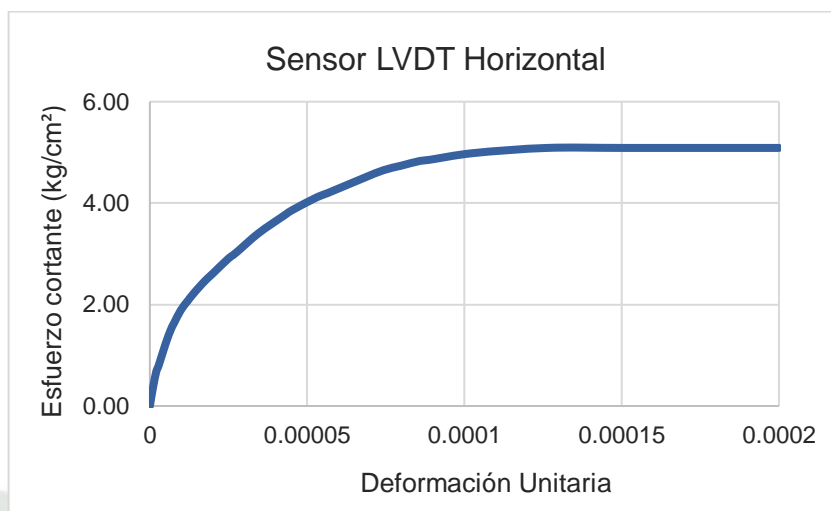


Gráfico 48: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 3\*.

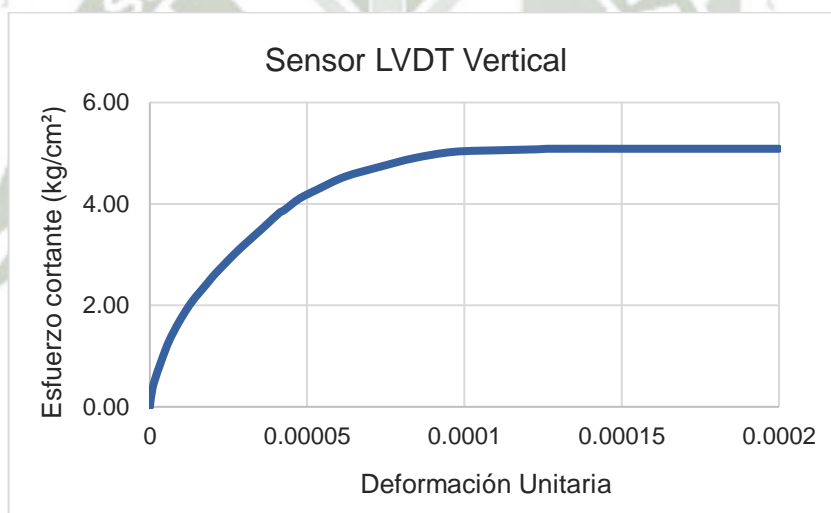


Gráfico 49: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 3\*.

Según los gráficos 48 y 49, el valor obtenido para el módulo de corte del murete M – 3\* es:

Espécimen	Área diagonal (cm²)	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	$\Delta\tau$ (kg/cm²)	$\Delta\gamma$	Gm (kg/cm²)
					$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 3*	1479.98	697.13	11700	3.16	0.0000866	36522.03

Tabla 74: Módulo de corte del murete M – 3\*.

Se muestra en la tabla 75 un resumen de los resultados correspondientes a los muretes M – 1, M – 2 y M – 3, los cuales se asentaron con junta vertical y horizontal de mortero.

Espécimen	Pmax (kg)	v'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
M - 1	24900	17.56	43254.09	41453.22
M - 2	25000	17.68	39987.33	
M - 3	25400	17.99	41118.24	

Tabla 75: Módulo de corte de muretes con junta vertical y horizontal de mortero.

Con relación a los muretes que se asentaron con junta vertical machihembrada y junta vertical de mortero (M – 1\*, M – 2\* y M – 3\*), se muestra la tabla 76.

Espécimen	Pmax (kg)	v'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
M - 1*	11900	8.39	36768.19	36945.66
M - 2*	11850	8.38	37546.76	
M - 3*	11700	8.31	36522.03	

Tabla 76: Módulo de corte de muretes con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero.

En el gráfico 50 se aprecia la reducción del módulo de corte de la albañilería cuando la junta vertical es machihembrada y no tiene mortero. Esta diferencia se atribuye a que la falla del murete sin junta vertical de mortero se debió al deslizamiento de las juntas de mortero antes de la falla de las unidades. Consecuentemente, se obtuvo una menor resistencia al corte y menores deformaciones asociadas a la carga resistida, generando la reducción del módulo de corte.

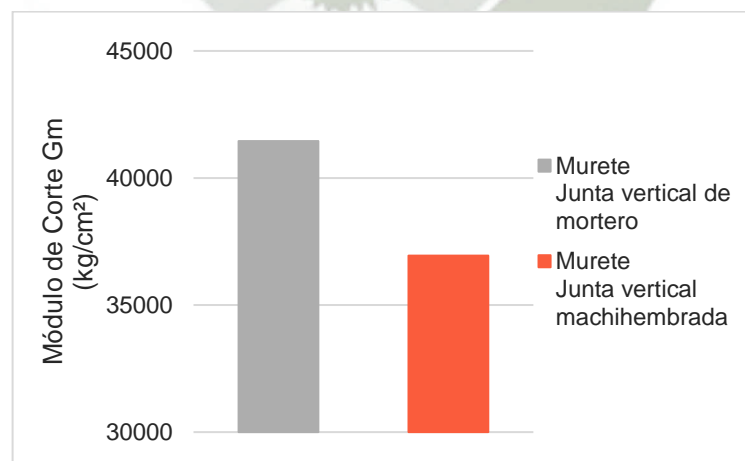
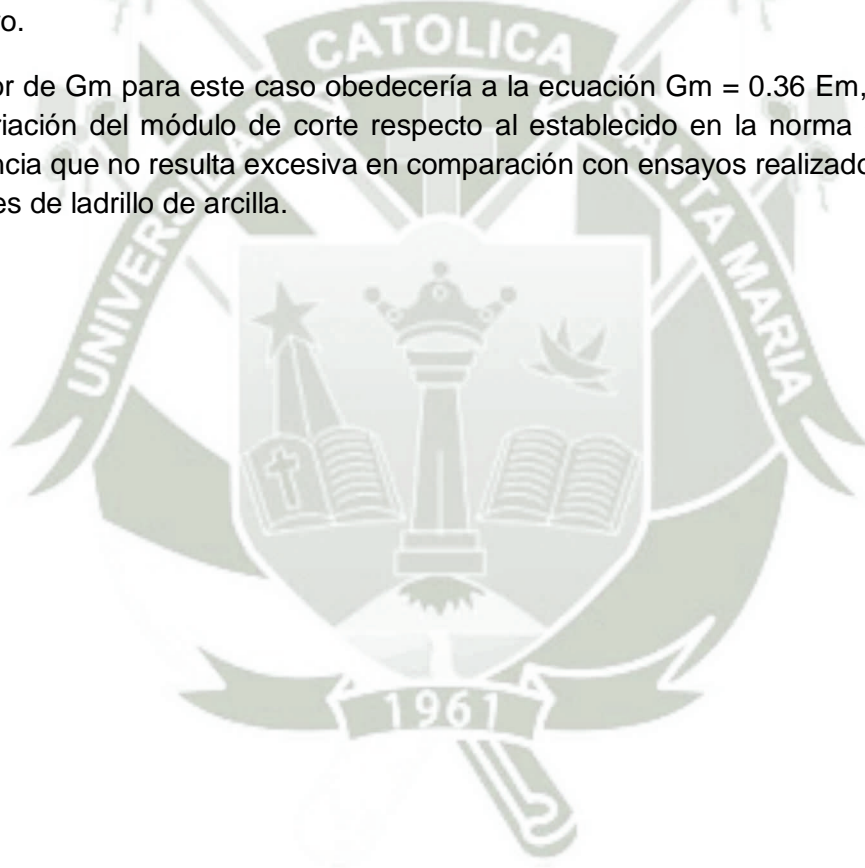


Gráfico 50: Comparación del módulo de corte en base a la junta vertical empleada en el murete.

Relacionando los valores obtenidos experimentalmente  $E_m/G_m$  para el murete con junta vertical de mortero, se obtendría un valor de 2.498. Debiéndose cumplir la relación  $E_m/G_m = 2(1 + \nu)$ , se obtendría un módulo de Poisson  $\nu = 0.249$ , valor similar al asumido por la norma E.070 para establecer la relación  $G_m = 0.4 E_m$ , de  $\nu = 0.25$ . Por tanto, el valor obtenido mediante el ensayo es muy parecido al establecido en la norma, con una variación del 1%.

En cuanto a los valores  $E_m/G_m$  obtenidos para el murete con junta vertical machihembrada, si se percibe una diferencia al valor indicado en la norma E.070. El valor  $E_m/G_m$  es de 2.802, correspondiéndole un módulo de Poisson  $\nu = 0.401$ . Este valor de módulo de Poisson resultaría incoherente si se tratase de un muro con junta de mortero tradicional, pero debido a que la junta vertical es machihembrada, dicho valor se incrementa ya que el murete ya no se comporta como un material isótropo, en donde se transmite las fuerzas especialmente a través de las juntas de mortero verticales y horizontales, sino lo hace sólo a través de las juntas horizontales las cuales son de mortero.

El valor de  $G_m$  para este caso obedecería a la ecuación  $G_m = 0.36 E_m$ , de  $\nu = 0.401$ . La variación del módulo de corte respecto al establecido en la norma es del 10.2%, diferencia que no resulta excesiva en comparación con ensayos realizados a diferentes muretes de ladrillo de arcilla.



## CAPÍTULO X: ENSAYO TÉRMICO

El método empleado para determinar la mejora de la conductividad térmica de la unidad fue la que se emplea en el ensayo de resistencia al fuego de elementos para edificación y similares descrito en la norma ISO 834 Fire resistance tests. Elements of building construction.

A través de este ensayo puede determinarse la resistencia al fuego de la albañilería y a su vez permite conocer la curva de calentamiento del muro ensayado. Además, mediante una modificación en la disposición de las termocuplas, puede establecerse la curva propia de la unidad de albañilería como del mortero durante el ensayo.

### 10.1. Descripción del método de ensayo

Este ensayo permite conocer la resistencia al fuego de un elemento estructural mediante la aplicación de fuego en una de sus caras en el caso de la albañilería durante un tiempo determinado, hasta que dejen de cumplirse las condiciones relacionadas a la capacidad de soporte de carga, aislamiento térmico, estanqueidad de llama y la no emisión de gases inflamables.

Sin embargo, dadas las características propias del horno de ensayo y de la alta resistencia que ofrece las unidades cerámicas al fuego, solo se obtendrá las curvas de calentamiento para el horno, la unidad y el mortero respectivamente, mas no la resistencia al fuego de la albañilería.

El método consiste básicamente en un horno, el cual está constituido por dos cámaras separadas por el espécimen a ensayar. En una de las cámaras es donde se genera el fuego y se registra las temperaturas tanto en el ambiente caliente como en la superficie del espécimen en contacto con las llamas, mientras que en la otra cámara, la cual está abierta por un lado, se registra las temperaturas superficiales del espécimen por su cara más fría en contacto con la temperatura ambiente durante un lapso de tiempo.

### 10.2. Componentes y descripción del equipo de ensayo

Para aplicar el método, se empleó un horno de ensayo de resistencia al fuego del Laboratorio de Materiales UNI – LEM, tal como se muestra en la figura 92.



Figura 92: Equipo de ensayo de resistencia al fuego.

#### 10.2.1. Horno de ensayo

En esta cámara es donde se produce el fuego a través de un sistema de quemadores a gas distribuido a lo largo de toda el área del espécimen.

El lado abierto de esta cámara mide 1.0 x 0.5 m, por lo tanto el espécimen tendrá estas dimensiones para que se ubique correctamente en su interior y el perímetro del espécimen quede sellado de manera que las paredes de la cámara y el espécimen deban formar un encierro impermeable al aire.

La profundidad de la cámara de fuego es de 0.2 m y presenta una puerta lateral por donde se coloca el espécimen, tal como se muestra en la figura 93.



Figura 93: Sistema de quemadores del horno de ensayo.

### 10.2.2. Cámara fría

La cámara fría es donde se simula un ambiente frío o ambiente exterior. Las dimensiones de esta cámara son similares a las de la cámara caliente, excepto en la profundidad, ya que en este caso es de 65 cm.

### 10.2.3. Instrumentos de medición

Para la medición de la temperatura del horno y de superficie a cada lado del espécimen, se empleó termocuplas de Chromel – Alumel tipo K con sensibilidad de 0.25°C.

Para la medición de la temperatura del horno, se dispuso de 2 termocuplas dispuestas simétricamente en el interior de la cámara caliente del horno de ensayo.

Para la medición de la temperatura en las caras del muro se colocó 4 termocuplas distribuidas en paralelo en la unidad de albañilería y en el mortero. Para la unidad de albañilería, se colocó una termocupla ubicada a 10 mm de la cara caliente en contacto con el fuego del espécimen y la otra a 5 mm de la cara fría de la unidad. En el caso del mortero, también se adoptó la misma disposición de las termocuplas, una de ellas a 10 mm de la cara caliente y la otra a 5 mm de la cara fría del mortero.

Se ha designado las termocuplas tal como se detalla a continuación:

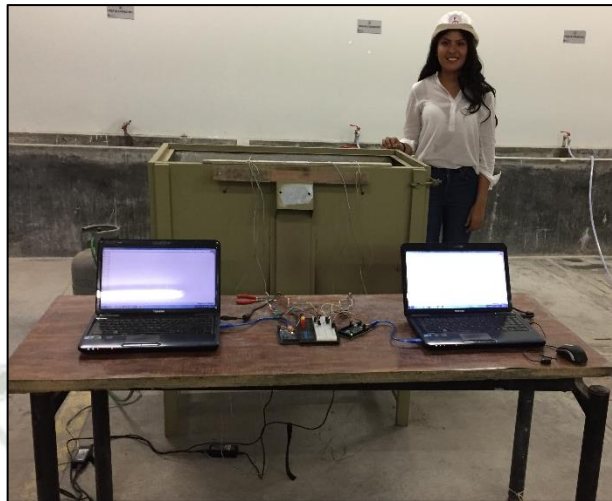
- Termocuplas Horno A – Horno B: son termocuplas colocadas en la zona de fuego (cámara de horno caliente).
- Termocuplas Ladrillo (interior), Ladrillo (exterior): son termocuplas de superficie que se colocan en la unidad en el lado caliente y frío correspondientemente.
- Termocuplas Bloque (interior) y Bloque (exterior): son termocuplas de superficie que se colocan en la unidad en el lado caliente y frío correspondientemente.
- Termocuplas Mortero (interior), Mortero (exterior): son termocuplas de superficie que se colocan en el mortero, a ambos lados del espécimen a ensayar.
- Termocuplas Machihembrado (interior), Machihembrado (exterior): son termocuplas de superficie que se colocan en la junta machihembrada, a ambos lados del espécimen a ensayar.

### 10.2.4. Software

Par el registro de la temperatura, se empleó el Software COM17 Arduino, el cual convirtió el voltaje registrado por las termocuplas a temperatura en °C, mostrando lecturas a una frecuencia de 0.5 segundos.

Dado que cada uno de los terminales de las termocuplas utilizadas en el ensayo llegan a un tablero terminal que posee igual número de conectores que la cantidad de

termocuplas conectadas al mismo (dos), se necesitaron 3 laptops funcionando simultáneamente durante todo el ensayo.



*Figura 94: Registro de temperaturas durante el ensayo térmico.*

### 10.3. Construcción y preparación de los especímenes

La elaboración de los especímenes a ensayar, se construyeron de manera tal que sean lo más representativos al muro real que simulan.

Se siguió el siguiente procedimiento constructivo para la construcción de los especímenes:

1. Saturado superficial de los ladrillos durante media hora un día antes del asentado.
2. Colocación y trazado de las hiladas utilizando el escantillón, para luego colocar los ladrillos maestros y posteriormente las hiladas utilizando el nivel y aplomo.
3. El asentado de los ladrillos se realizó colocando una junta de mortero de 1 cm, con una dosificación 1:4 (cemento – arena). En los especímenes construidos con bloques con machihembrado, no se colocó junta vertical de mortero.

El asentado se realizó hasta obtener un espécimen con un área de 1.00 m x 0.50 m, con un espesor de 0.14 m.

Una vez construido el espécimen, se dejó fraguar a temperatura de laboratorio (15°C), durante 21 días.



*Figura 95: Muro de ladrillo king kong (izquierda) y muro de bloque de termoarcilla (derecha).*

Luego de transcurrido dicho tiempo, se colocó el muro en el horno en forma horizontal, entre la cámara caliente y la cámara fría, centrándolo y aplomándolo, de tal manera que las uniones de la cámara térmica queden exactas, para asegurar un cierre hermético.

Después de colocado el muro en el horno de ensayo, se colocan las termocupas en el muro fijadas con una pasta de cemento, siguiendo la distribución estudiada tanto para el lado caliente como para el lado frío, tal como se muestra en la figura 96.



*Figura 96: Ensayo térmico en muro de ladrillo king kong (izquierda) y muro de bloque de termoarcilla (derecha).*

## 10.4. Resultados

### 10.4.1. Muro de ladrillo king kong (junta vertical y horizontal de mortero)

En función a la distribución de termocuplas en el ensayo, se obtuvieron curvas tiempo – temperatura para el horno como para la unidad de albañilería y el mortero.

#### 10.4.1.1.Horno (cámara caliente)

Dado que se colocaron dos termocuplas en la zona del horno de ensayo, se registraron dos curvas tiempo – temperatura, que se muestra en el gráfico 51, para la termocupla denominada Horno A y Horno B correspondiente.

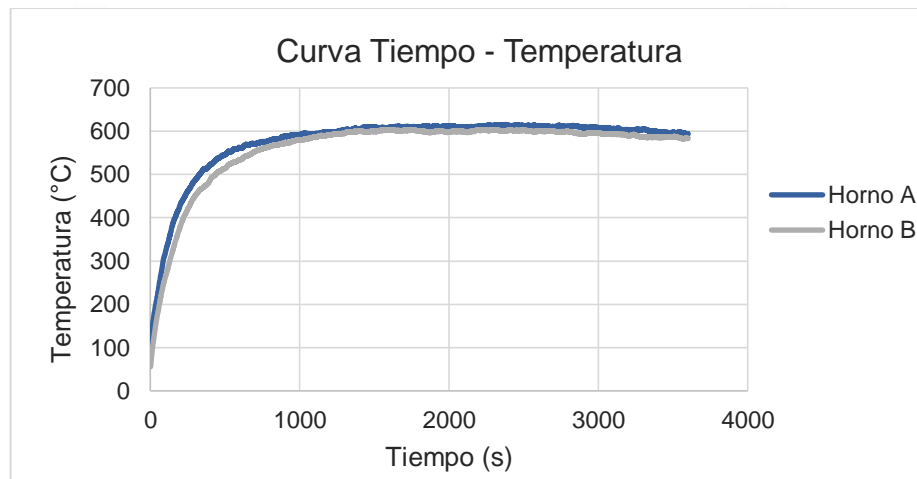


Gráfico 51: Curvas de calentamiento del horno.

Se considera como temperatura del horno la media de las temperaturas obtenidas por medio del par termoeléctrico (termocuplas) dispuestas simétricamente en el interior del horno, mostrada en el grafico 52.

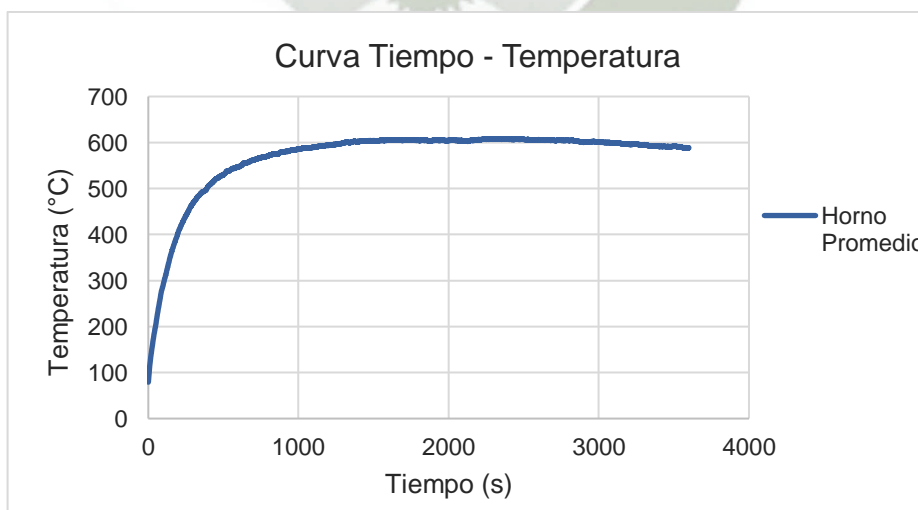


Gráfico 52: Curva de calentamiento promedio del horno.

En el gráfico 52 se observa que la máxima temperatura alcanzada en el horno durante el ensayo fue de  $600.87^{\circ}\text{C}$  en un lapso de tiempo de 2300 s (38.30 min), tiempo a partir del cual la curva se estabilizó, manteniendo una temperatura constante hasta el final del ensayo. La curva de tiempo – temperatura obedece a la función:  $33.276 + 74.377 \log(1+x)$ , correspondiendo a uno de los diferentes tipos de curva representada en un incendio.

#### 10.4.1.2. Unidad de albañilería – ladrillo king kong

Las curvas mostradas en el gráfico 53 corresponden a los termopares colocados en el ladrillo tanto en la cara exterior como en la interior.

La cara interior del ladrillo muestra una temperatura máxima de  $224^{\circ}\text{C}$  para el instante en que culminó el ensayo, mientras que la cara exterior del ladrillo en contacto con la temperatura ambiente registro una temperatura de  $89.25^{\circ}\text{C}$ .

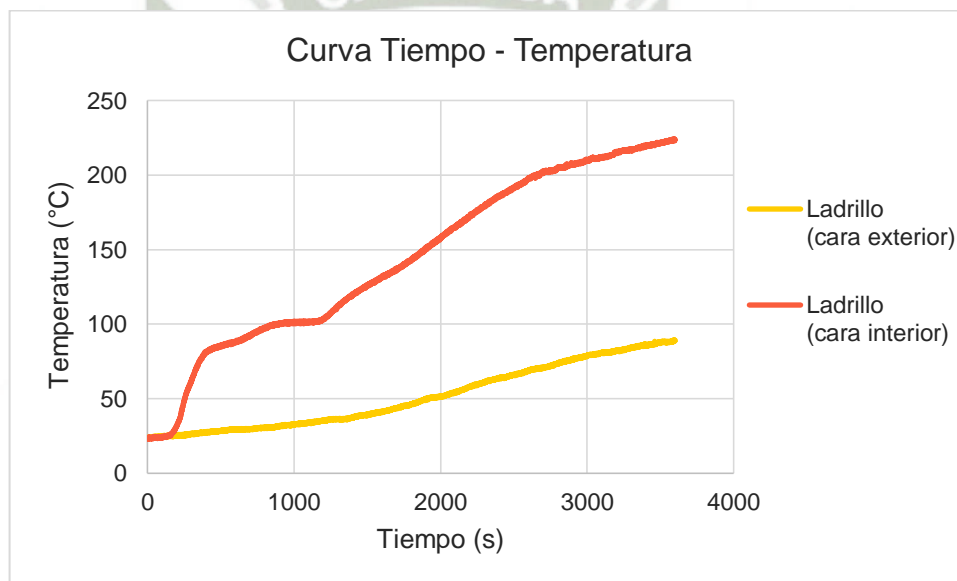


Gráfico 53: Curvas de calentamiento del ladrillo.

#### 10.4.1.3. Junta vertical de mortero

Las curvas mostradas en el gráfico 54 corresponden a los valores registrados por los termopares ubicados en la cara exterior e interior del mortero.

La cara interior del mortero registró una temperatura máxima de  $237.5^{\circ}\text{C}$  para el instante en que culminó el ensayo, mientras que la cara exterior del mortero en contacto con la temperatura ambiente registró una temperatura de  $72.75^{\circ}\text{C}$ .

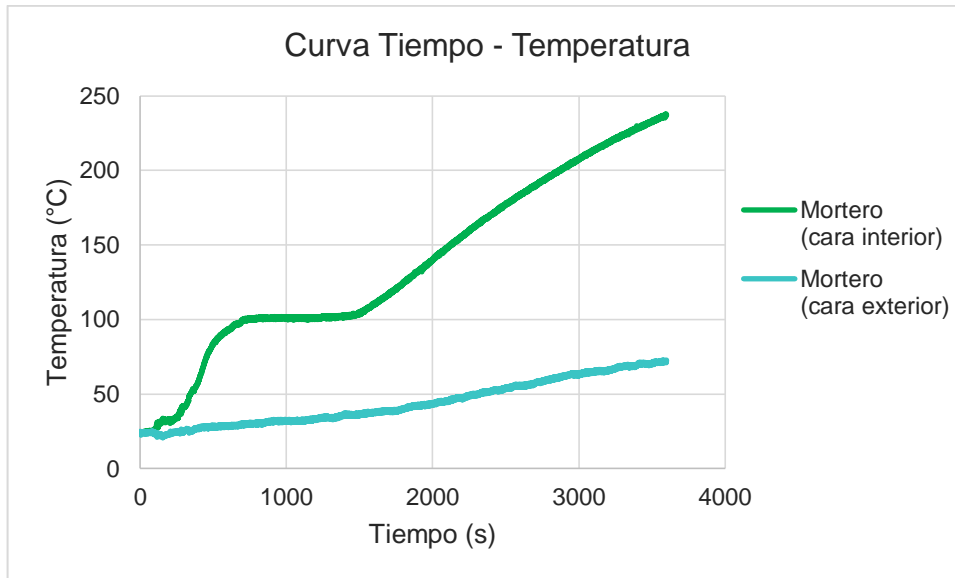


Gráfico 54: Curvas de calentamiento del mortero.

Las curvas mostradas en el gráfico 55 representan a los valores registrados por cada termopar colocado en el muro, tanto en el ladrillo como en el mortero, y a su vez, la curva promedio de calentamiento del horno.

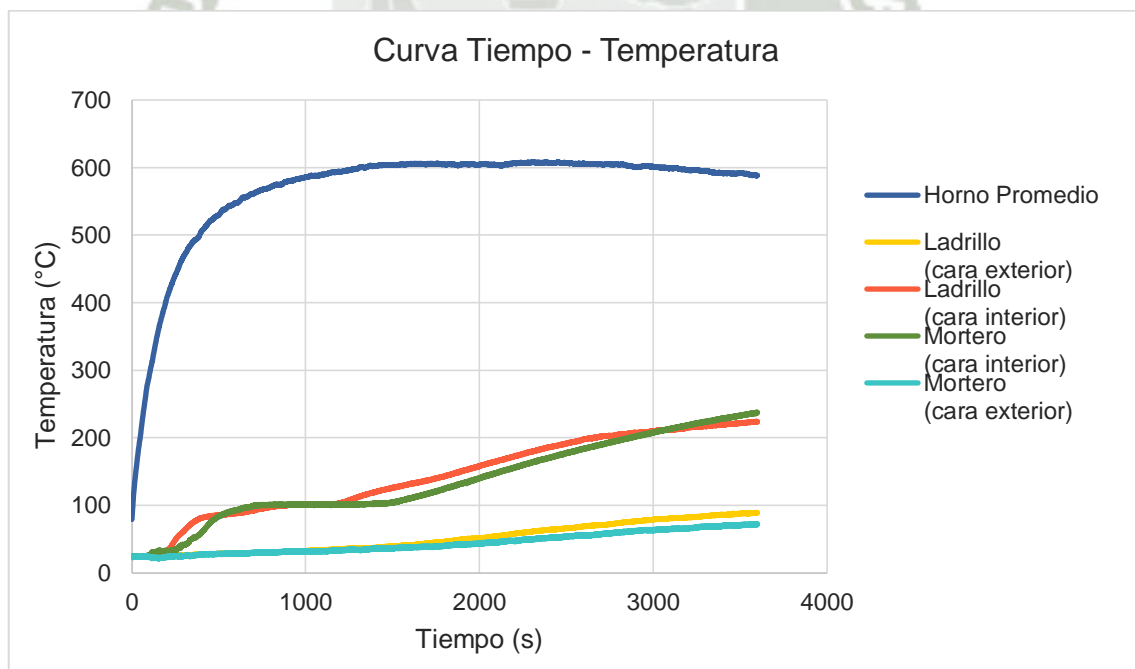


Gráfico 55: Curvas de calentamiento del horno, ladrillo y mortero.

#### 10.4.2. Muro de bloques de termoarcilla (junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero)

En función a la distribución de termocuplas en el ensayo, se obtuvieron curvas tiempo – temperatura para el horno, como para la unidad de albañilería y la junta vertical machihembrada.

##### 10.4.2.1. Horno (cámara caliente)

Se registran dos curvas de calentamiento en el gráfico 56 correspondientes a cada termopar colocado en la zona del horno de ensayo, denominadas termocupla Horno A y Horno B.

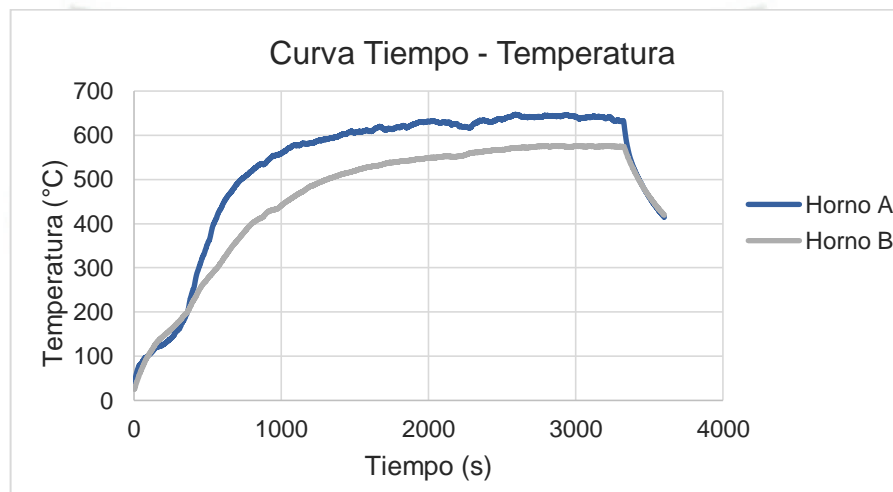


Gráfico 56: Curvas de calentamiento del horno.

La curva de calentamiento promedio del horno mostrada en el gráfico 57 se obtuvo de la media de las temperaturas obtenidas de cada termopar colocado en la zona de fuego del horno.

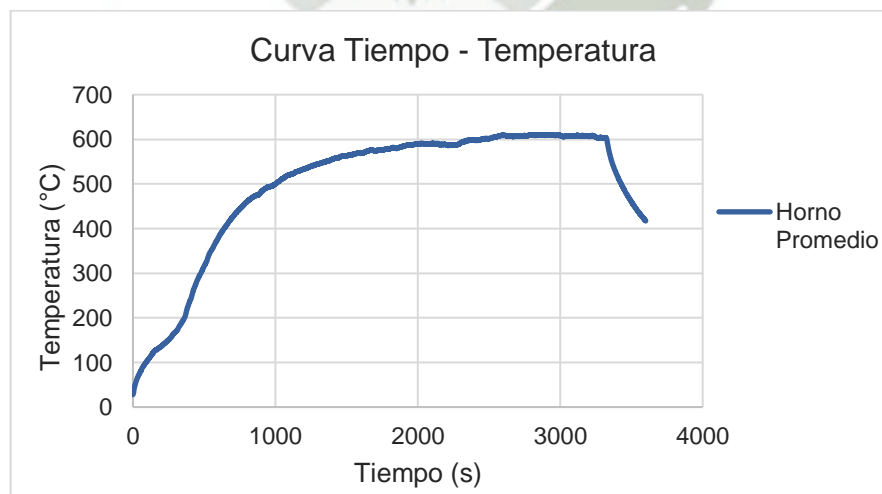


Gráfico 57: Curva de calentamiento promedio del horno.

En el gráfico 57, se observa que la máxima temperatura alcanzada en el horno durante el ensayo fue de 610.25°C en un lapso de tiempo de 2936 s (48.90 min), tiempo a partir del cual la curva se estabilizó, manteniendo una temperatura constante hasta los 3323 s (55.40 min), momento a partir del cual la temperatura disminuyó hasta 417.12°C para un tiempo de 3600 s (60 min), tiempo en que culminó el ensayo.

La función de la curva de tiempo – temperatura es:  $-480.27 + 135.85 \log(1+x)$ .

#### 10.4.2.2.Unidad de albañilería – bloque de termoarcilla

Las curvas mostradas en el gráfico 58 corresponden a los termopares colocados en el bloque tanto en la cara exterior como en la interior.

La cara interior del bloque de termoarcilla muestra una temperatura máxima de 192.75°C para el instante en que culminó el ensayo, mientras que la cara exterior del bloque en contacto con la temperatura ambiente registró una temperatura de 45.00°C.

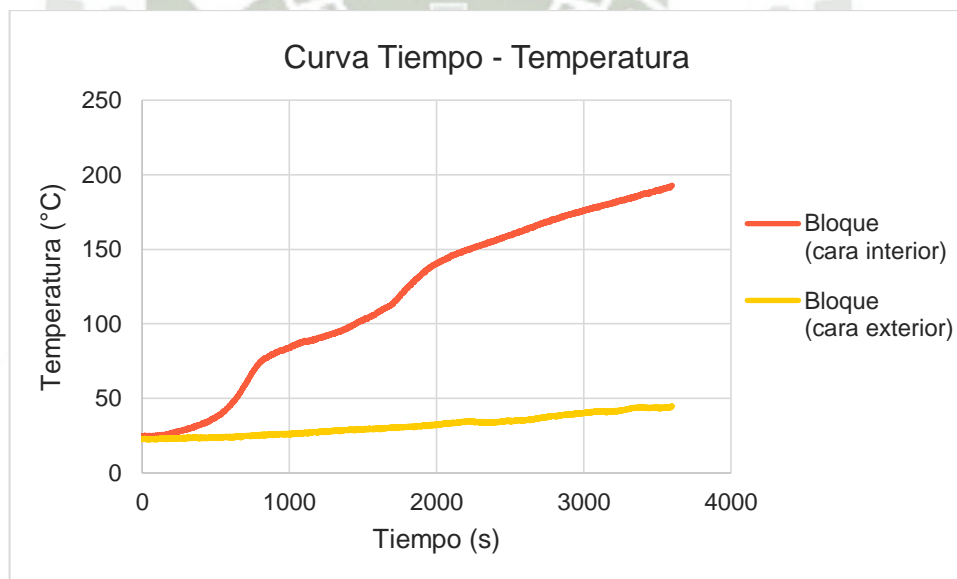


Gráfico 58: Curvas de calentamiento del bloque de termoarcilla.

#### 10.4.2.3.Junta vertical machihembrada

Las curvas mostradas en el gráfico 59 corresponden a los valores registrados por los termopares ubicados en la junta machihembrada, tanto en la cara exterior como en la interior del muro.

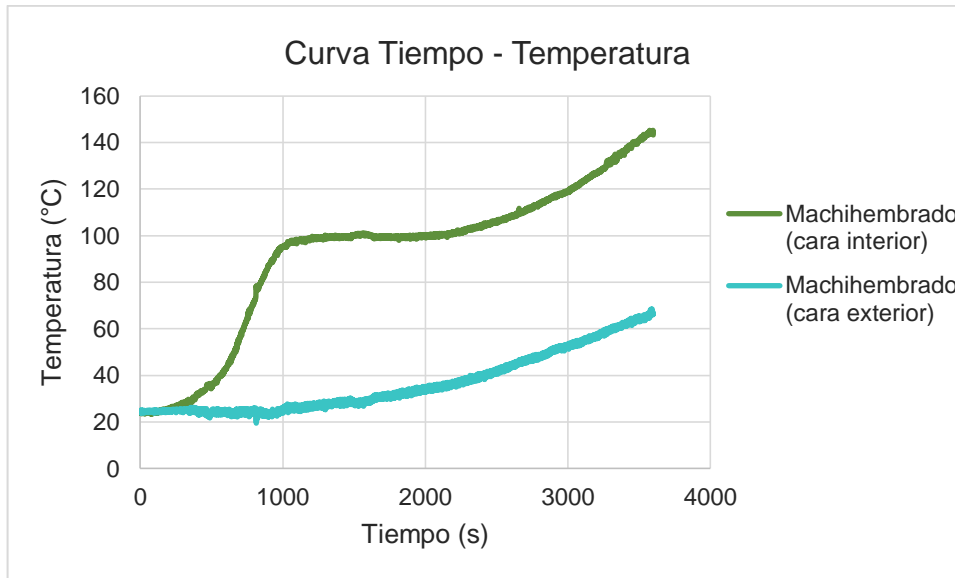


Gráfico 59: Curvas de calentamiento de la junta machihembrada.

La cara interior registró una temperatura máxima de 143.25 °C para el instante en que culminó el ensayo, mientras que la cara exterior del muro en contacto con la temperatura ambiente registró una temperatura de 66.25 °C.

El gráfico 60 muestra las curvas correspondientes a los termopares colocados en el bloque de termoarcilla, en la junta vertical machihembrada y la curva de calentamiento promedio de la zona del horno.

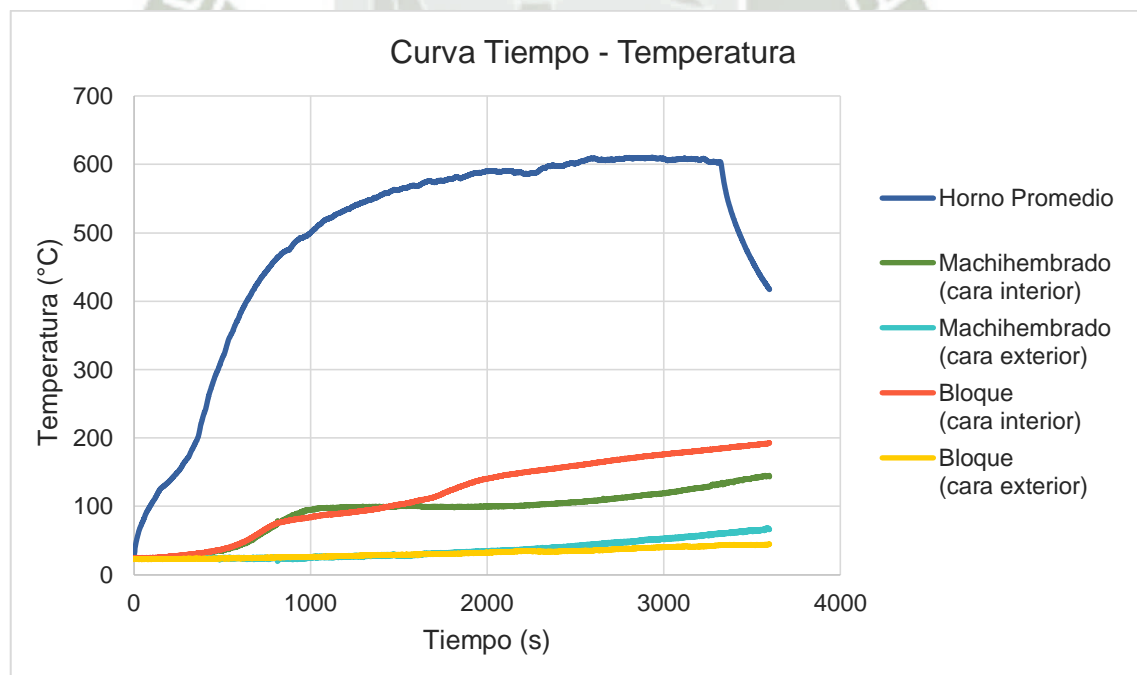


Gráfico 60: Curvas de calentamiento del horno, bloque de termoarcilla y junta machihembrada.

### 10.5. Análisis de resultados

De los datos registrados en el ensayo empleando el muro de ladrillo king kong y del ensayo con bloque de termoarcilla, podemos mostrar la siguiente tabla resumen:

		Temperatura máxima registrada (°C)	
		Ladrillo King Kong (Junta de mortero)	Bloque de Termoarcilla (Junta machihembrada)
Horno		600.87	610.25
Unidad de albañilería	Cara Interior	224.00	192.75
	Cara Exterior	89.25	45.00
Junta	Cara Interior	237.50	143.25
	Cara Exterior	72.75	66.25

Tabla 77: Resumen de temperaturas máximas registradas.

Si analizamos la tabla anterior, podemos ver que la temperatura máxima en el horno en ambos ensayos es bastante similar, con una variación entre ellas menor al 2%. A partir de esta temperatura máxima registrada, se mantiene cierto grado de estabilización en el horno hasta la culminación del ensayo.

Al analizar la temperatura registrada para la unidad de albañilería, si se encuentra una notable variación tanto en la cara interior expuesta al fuego, como en la cara exterior.

En la cara interior expuesta al fuego, tal como se muestra en el gráfico 61, las curvas de calentamiento para ambas unidades mantienen la misma tendencia creciente hasta el momento en que culmina el ensayo (60 min). Sin embargo, se registra una menor temperatura para el bloque de termoarcilla, del orden de 31.25°C menos.

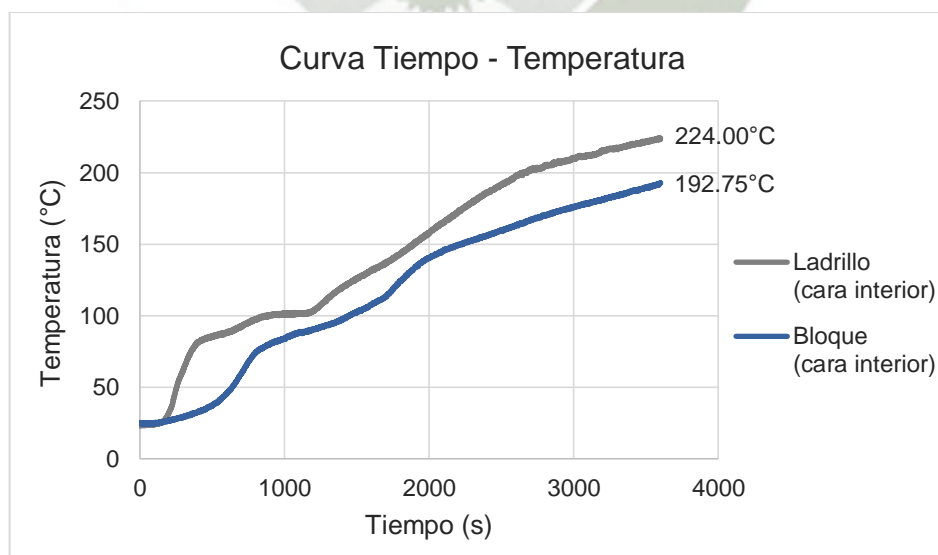


Gráfico 61: Temperaturas máximas registradas en la cara interior de la unidad de albañilería.

El registro de una menor temperatura en el bloque en comparación con el ladrillo se atribuye específicamente a la composición de la masa arcillosa de la unidad. El bloque de termoarcilla, al tener una mayor porosidad, permite que la transferencia de calor por convección sea más lenta a través de la pared de la unidad, no siendo así para el ladrillo, puesto que la transferencia de calor por conducción y convección es más rápida, al tratarse de una unidad con composición menos porosa.

El gráfico 62 muestra las curvas de calentamiento de las caras exteriores de las unidades del muro, no expuestas al fuego. Se percibe una marcada diferencia entre la temperatura máxima del bloque en comparación con el ladrillo. Dicho valor se encuentra bordeando el doble de lo registrado en una unidad en comparación a la otra, el cual asciende a 44.25°C.

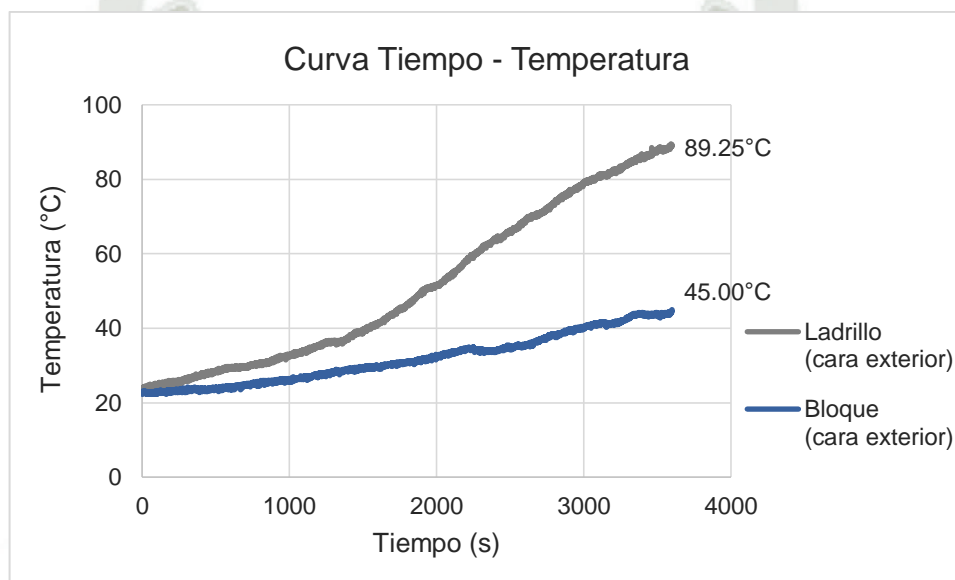


Gráfico 62: Temperaturas máximas registradas en la cara exterior de la unidad de albañilería.

Esta notable variación es producto tanto de la composición interna de la masa arcillosa y principalmente, de la configuración geométrica de la sección transversal de la unidad, conceptos que se consideraron para el diseño de los bloques de termoarcilla.

Respecto a lo anterior, podemos concluir que con el bloque diseñado se obtiene una mejora de la conductividad térmica en la unidad de cerca de la mitad de su valor, disminuyendo en un 49%. Esto indicaría que del valor establecido de conductividad térmica en la norma para ladrillo king kong de 0.47 W/(m K), se reduciría a un valor de 0.236 W/(m K) para el bloque de termoarcilla diseñado.

En relación a la junta vertical empleada para cada muro también se percibe una clara diferencia entre los dos sistemas constructivos. El murete de ladrillo king kong con junta vertical de mortero (junta tradicional) registró un valor de 237.5 °C, mientras que el murete de bloque de termoarcilla con junta vertical machihembrada 143.25°C, ambos valores para la cara interior expuesta al fuego. (Gráfico 63)

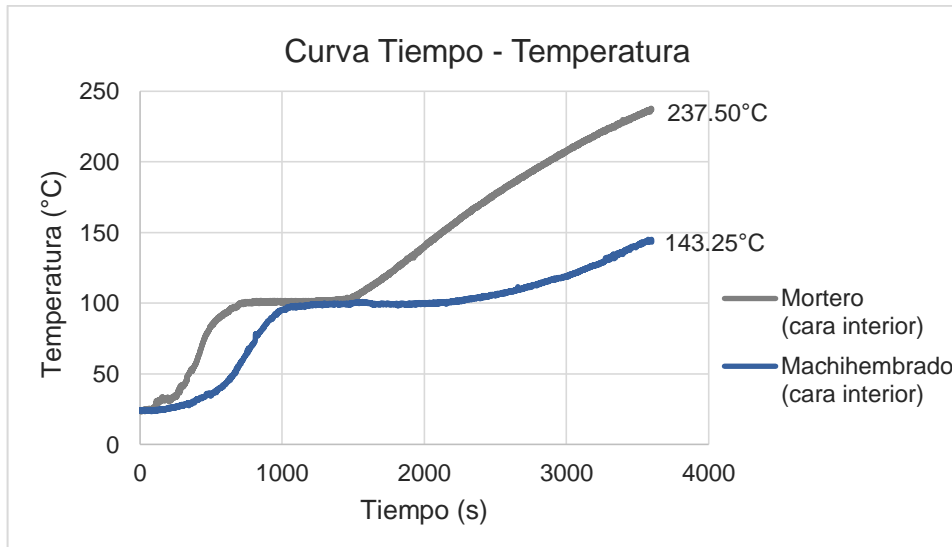


Gráfico 63: Temperaturas máximas registradas en la cara interior de la junta vertical de mortero y junta machihembrada.

En el gráfico 64 se muestra la diferencia de temperatura para la cara externa no expuesta al fuego de la junta vertical para ambos ensayos. La junta vertical con mortero registró una temperatura de 72.75°C, mayor que la obtenida en la junta vertical machihembrada, de 66.25°C.

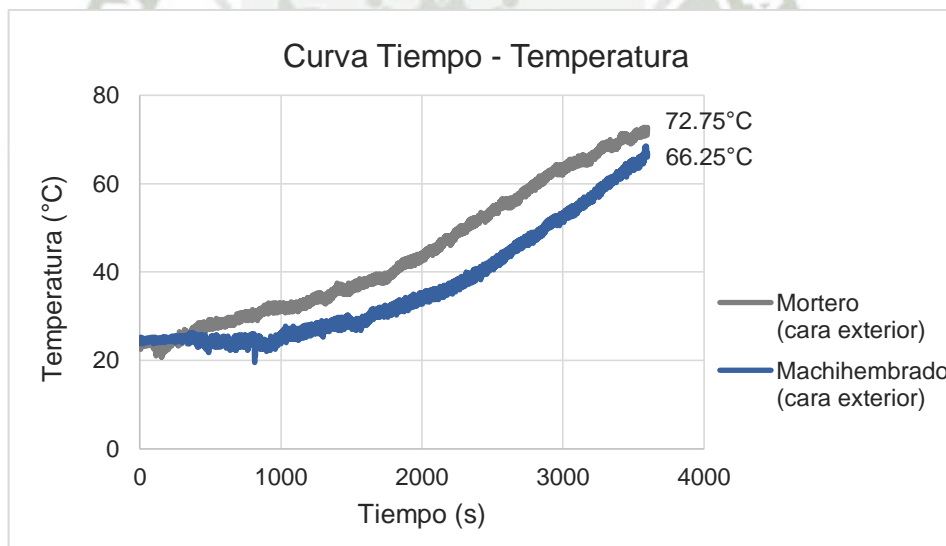


Gráfico 64: Temperaturas máximas registradas en la cara exterior de la junta vertical de mortero y junta machihembrada.

A pesar de ser una diferencia poco perceptible, con un 9% de reducción de la transmisión de calor entre ambas juntas, debe tenerse en cuenta que el valor de la diferencia (6.5°C) corresponde a una porción de una sola junta vertical. En función a esta reducción porcentual, se calculó el coef. de conductividad térmica para la junta machihembrada, resultando un valor de 1.27 W/(m K).

## 10.6. Transmitancia térmica del muro

En función a los datos obtenidos de conductividad térmica del bloque de termoarcilla y de la junta machihembrada en el ensayo térmico, se realizó un comparativo de la transmitancia térmica total de cada sistema para la envolvente de muros. Para ello, se realizó un esquema de una vivienda básica, la cual tiene las siguientes características:

- Muros: 0.14 m de espesor.
- Sobrecimiento: 0.14 m de espesor.
- Viga típica: 0.15x0.25 m.
- Columna típica: 0.30x0.30 m.
- Ventana: 1.00 – 1.50x1.40 m, de vidrio de 0.01 m de espesor, con marco de carpintería de madera liviana de 0.05 m de espesor.
- Puerta: 2.40x0.85 m, de madera maciza de 0.04 m de espesor.

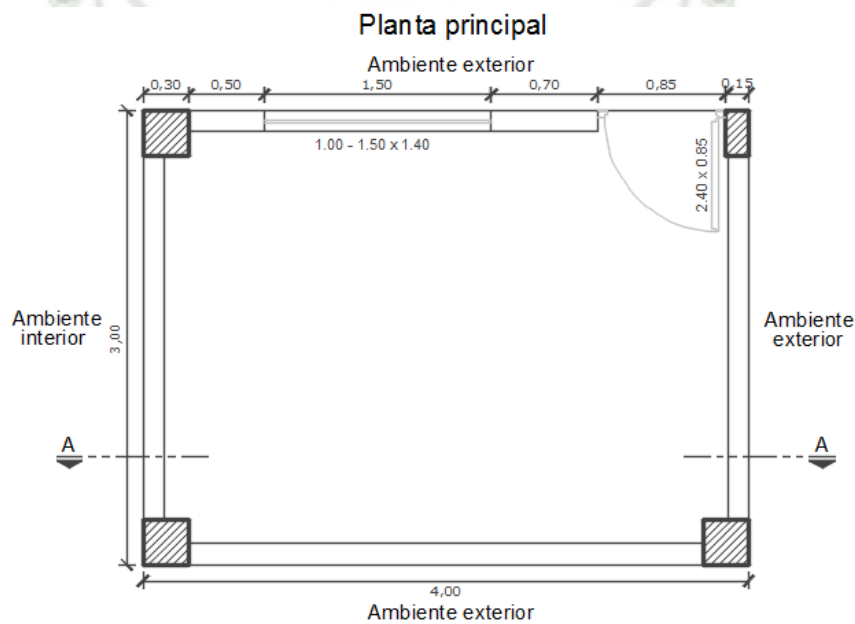


Gráfico 65: Esquema de planta principal de vivienda básica.

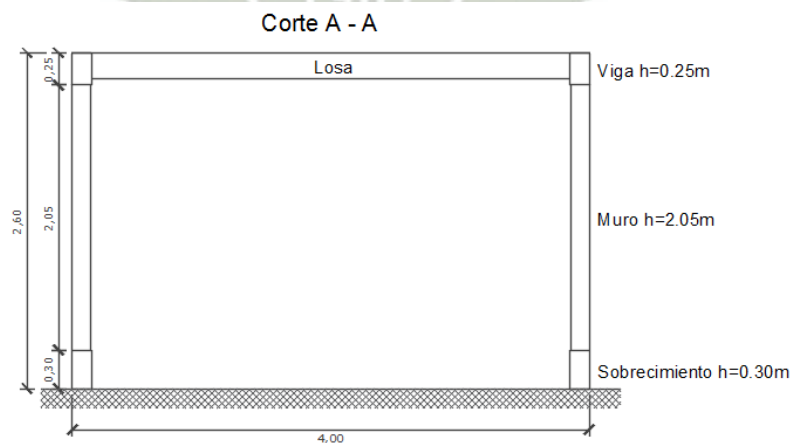


Gráfico 66: Corte A-A de vivienda básica.



10.6.1. Muro de ladrillo king kong (junta vertical y horizontal de mortero)

- Envoltente Tipo 1A

ENVOLVENTE TIPO 1A							
Componentes	Elementos	Espesor (m)	RST/RCA ((m <sup>2</sup> K)/W)	Coef. de conductividad térmica k (W/(m K))	Sn (Área) (m <sup>2</sup> )	Un (W/(m <sup>2</sup> K))	Sn x Un
Ventanas	<b>Ventanas</b>						
	Vidrio Prensado	0.01			2.10	5.60	11.76
	<b>Carpintería del Marco</b>						
	Madera liviana - Tornillo	0.05			0.30	2.00	0.60
Puertas	<b>Puertas</b>						
	Puerta Hoja maciza de madera	0.04			2.04	3.50	7.14
Muros verticales Tipo 1A (Separación con ambientes exteriores)	<b>Puente Térmico: Muros</b>						
	<b>Resistencias Superficiales</b>						
	Resistencia superficial externa Rse		0.11				
	Resistencia superficial interna Rsi		0.06				
	<b>Muro 1A (d)</b>						
	Ladrillo King Kong 18 huecos (9x14x24)	0.14		0.47	4.92	2.16	10.64
	Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JV y JH)	0.14		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Muro 1A (a)</b>						
	Ladrillo King Kong 18 huecos (9x14x24)	0.14		0.47	3.51	2.16	7.59
	Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JV y JH)	0.14		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Muro 1A (c)</b>						
	Ladrillo King Kong 18 huecos (9x14x24)	0.14		0.47	6.97	2.16	15.07
	Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JV y JH)	0.14		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
	Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Columnas</b>						
	<b>Columna C1</b>						
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.71	4.87	3.43
	Concreto armado	0.3		1.63			
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Columna C2</b>						
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.71	4.87	3.43
	Concreto armado	0.3		1.63			
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Columna C3</b>						
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40	1.41	4.87	6.86
	Concreto armado	0.3		1.63			
	Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Columna C4</b>						
Mortero arena - cemento	0.015		1.40	1.06	4.87	5.15	
Concreto armado	0.3		1.63				
Mortero arena - cemento	0.015		1.40				
<b>Puente Térmico: Sobrecimientos</b>							
<b>Sobrecimiento (d)</b>							
Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.72	8.76	6.31	
Concreto simple	0.14		1.51				
Mortero arena - cemento	0.015		1.40				
<b>Sobrecimiento (a)</b>							
Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.81	8.76	7.10	
Concreto simple	0.14		1.51				
Mortero arena - cemento	0.015		1.40				
<b>Sobrecimiento (c)</b>							
Mortero arena - cemento	0.015		1.40	1.02	8.76	8.94	
Concreto simple	0.14		1.51				

Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
<b>Puente Térmico: Vigas</b>						
<b>Viga (d)</b>						
Mortero arena - cemento	0.015		1.4	0.75	5.72	4.29
Concreto armado	0.25		1.63			
Mortero arena - cemento	0.015		1.4			
<b>Viga (a)</b>						
Mortero arena - cemento	0.015		1.4	1.00	5.72	5.72
Concreto armado	0.25		1.63			
Mortero arena - cemento	0.015		1.4			
<b>Viga (c)</b>						
Mortero arena - cemento	0.015		1.4	1.00	5.72	5.72
Concreto armado	0.25		1.63			
Mortero arena - cemento	0.015		1.4			
				Sumatoria $\Sigma$	29.02	109.75

TRANSMITANCIA (U máx total) =	3.78
-------------------------------	------

Tabla 78: Envoltente Tipo 1A – Muro de ladrillo King Kong.

- Envoltente Tipo 2A

ENVOLVENTE TIPO 2A								
Componentes	Elementos	Espesor (m)	RST/RCA ((m <sup>2</sup> K)/W)	Coef. de conductividad térmica k (W/(m K))	Sn (Área) (m <sup>2</sup> )	Un (W/(m <sup>2</sup> K))	Sn x Un	
Muros verticales Tipo 2A (Separación con ambientes interiores)	<b>Puente Térmico: Muros</b>							
	<b>Resistencias Superficiales</b>							
		Resistencia superficial externa Rse		0.11				
		Resistencia superficial interna Rsi		0.06				
	<b>Muro 2A (b)</b>							
		Ladrillo King Kong 18 huecos (9x14x24)	0.14		0.47	4.92	2.16	10.64
		Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JV y JH)	0.14		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Columnas</b>							
	<b>Columna C1</b>							
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.71	4.87	3.43
		Concreto armado	0.3		1.63			
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Columna C2</b>							
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.71	4.87	3.43
		Concreto armado	0.3		1.63			
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Sobrecimientos</b>							
	<b>Sobrecimiento (b)</b>							
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40	0.72	8.76	6.31
		Concreto simple	0.14		1.51			
		Mortero arena - cemento	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Vigas</b>							
	<b>Viga (b)</b>							
		Mortero arena - cemento	0.015		1.4	0.75	5.72	4.29
	Concreto armado	0.25		1.63				
	Mortero arena - cemento	0.015		1.4				
				Sumatoria $\Sigma$	7.80		28.10	

TRANSMITANCIA (U máx total) =	3.61
-------------------------------	------

Tabla 79: Envoltente Tipo 2A – Muro de ladrillo King Kong.

10.6.2. Muro de bloque de termoarcilla (junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero)

Dado que los elementos correspondientes a las ventanas, puertas y a los puentes térmicos de sobrecimientos, columnas y vigas no varían entre los sistemas constructivos, sólo se mostrará el detalle del puente térmico correspondiente a los muros propiamente dicho.

- Envoltente Tipo 1A

ENVOLVENTE TIPO 1A								
Componentes	Elementos	Espesor (m)	RST/RCA ((m <sup>2</sup> K)/W)	Coef. de conductividad térmica k (W/(m K))	Sn (Área) (m <sup>2</sup> )	Un (W/(m <sup>2</sup> K))	Sn x Un	
Ventanas	<b>Ventanas</b>	0.01			2.10	5.60	11.76	
	<b>Carpintería del Marco</b>	0.05			0.30	2.00	0.60	
Puertas	<b>Puertas</b>	0.04			2.04	3.50	7.14	
Muros verticales Tipo 1A (Separación con ambientes exteriores)	<b>Puente Térmico: Muros</b>							
	<b>Resistencias Superficiales</b>							
		Resistencia superficial externa Rse		0.11				
		Resistencia superficial interna Rsi		0.06				
	<b>Muro 1A (d)</b>							
		Bloque de Termoarcilla (18x14x28.6)	0.14		0.236	4.92	1.34	6.59
		Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JH)	0.14		1.40			
		Junta Vertical Machihembrada	0.14		1.27			
		Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Muro 1A (a)</b>							
		Bloque de Termoarcilla (18x14x28.6)	0.14		0.236	3.51	1.34	4.70
		Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JH)	0.14		1.40			
		Junta Vertical Machihembrada	0.14		1.27			
		Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Muro 1A (c)</b>							
		Bloque de Termoarcilla (18x14x28.6)	0.14		0.236	6.97	1.34	9.33
		Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JH)	0.14		1.40			
		Junta Vertical Machihembrada	0.14		1.27			
		Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Columnas</b>							
		<b>Columna C1</b>				0.71	4.87	3.43
		<b>Columna C2</b>				0.71	4.87	3.43
		<b>Columna C3</b>				1.41	4.87	6.86
		<b>Columna C4</b>				1.06	4.87	5.15
	<b>Puente Térmico: Sobrecimientos</b>							
		<b>Sobrecimiento (d)</b>				0.72	8.76	6.31
		<b>Sobrecimiento (a)</b>				0.81	8.76	7.10
	<b>Sobrecimiento (c)</b>				1.02	8.76	8.94	
<b>Puente Térmico: Vigas</b>								
	<b>Viga (d)</b>				0.75	5.72	4.29	
	<b>Viga (a)</b>				1.00	5.72	5.72	
	<b>Viga (c)</b>				1.00	5.72	5.72	
	Sumatoria Σ				29.02		97.06	
	TRANSMITANCIA (U máx total) =					3.34		

Tabla 80: Envoltente Tipo 1A – Muro de bloque de Termoarcilla.

- Envoltente Tipo 2A

ENVOLVENTE TIPO 2A								
Componentes	Elementos	Espesor (m)	RST/RCA ((m <sup>2</sup> K)/W)	Coef. de conductividad térmica k (W/(m K))	Sn (Área) (m <sup>2</sup> )	Un (W/(m <sup>2</sup> K))	Sn x Un	
Muros verticales Tipo 2A (Separación con ambientes interiores)	<b>Puente Térmico: Muros</b>							
	<b>Resistencias Superficiales</b>							
		Resistencia superficial externa Rse		0.11				
		Resistencia superficial interna Rsi		0.06				
	<b>Muro 2A (b)</b>							
		Bloque de Termoarcilla (18x14x28.6)	0.14		0.236	4.92	1.34	6.59
		Mortero Cemento - Arena de 1 cm (JH)	0.14		1.40			
		Junta Vertical Machihembrada	0.14		1.27			
		Revestimiento Cemento - Arena (exterior)	0.015		1.40			
		Revestimiento Cemento - Arena (interior)	0.015		1.40			
	<b>Puente Térmico: Columnas</b>							
		<b>Columna C1</b>				0.71	4.87	3.43
		<b>Columna C2</b>				0.71	4.87	3.43
	<b>Puente Térmico: Sobrecimientos</b>							
		<b>Sobrecimiento (b)</b>				0.72	8.76	6.31
	<b>Puente Térmico: Vigas</b>							
		<b>Viga (b)</b>				0.75	5.72	4.29
					Sumatoria Σ	7.80	24.05	
					TRANSMITANCIA (U máx total) =	3.08		

Tabla 81: Envoltente Tipo 2A – Muro de bloque de Termoarcilla.

Se comparó los valores obtenidos con lo establecido en la norma EM.110 (Tabla 1), en donde el valor máximo de transmitancia térmica de entre todas las zonas es de 3.60 para la zona bioclimática 8.

En las envoltentes en que se empleó ladrillo king kong en la albañilería, se obtuvo valores de transmitancia térmica de 3.78 y 3.60 W/(m<sup>2</sup>K) correspondientemente:

- Envoltente Tipo 1A:  $U_{máx} = 3.78 \text{ W/(m}^2\text{K)} > 3.60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (NO CUMPLE)
- Envoltente Tipo 2A:  $U_{máx} = 3.61 \text{ W/(m}^2\text{K)} > 3.60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (NO CUMPLE)

En las envoltentes en que se empleó ladrillo king kong en los muros de albañilería, la transmitancia térmica supera a todos los valores establecidos en la norma, no cumpliendo con ninguna zona bioclimática; sin embargo, sigue siendo el material de construcción con mayor uso en muros portantes de albañilería.

En referencia a las envoltentes en donde se emplea bloque de termoarcilla en los muros de albañilería, se obtuvo los valores de 3.34 y 3.08 W/(m<sup>2</sup>K):

- Envoltente Tipo 1A:  $U_{máx} = 3.34 \text{ W/(m}^2\text{K)} < 3.60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (CUMPLE)
- Envoltente Tipo 2A:  $U_{máx} = 3.08 \text{ W/(m}^2\text{K)} < 3.20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (CUMPLE)  
 $< 3.60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (CUMPLE)

En conclusión, las envoltentes Tipo 1A de la vivienda cumplen con la transmitancia térmica establecida para la zona bioclimática 8 y 9. Los muros Tipo 2A cumplen con la transmitancia térmica establecida para la zona bioclimática 2, 8 y 9.

## CAPÍTULO XI: ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO

### 11.1. Análisis de costos de la unidad

El costo unitario del bloque de termoarcilla se realizó en función a la cantidad de material que posee la mezcla, tanto de arcilla como de poliestireno.

Para establecer el costo del bloque de termoarcilla, se calculó primero el volumen de mezcla que este contenía:

Las dimensiones del bloque son:

Largo (cm)	28.6
Ancho (cm)	14.0
Alto (cm)	18.0
Porcentaje de alvéolos %	36.7

Volumen de la unidad (cm <sup>3</sup> )	4562.2
-----------------------------------------	--------

Tabla 82: Dimensiones del bloque de termoarcilla.

Dado que se calculó el peso en función a la unidad cocida, se considerará un peso de cero para las perlititas de poliestireno, las cuales se han volatilizado durante la cocción:

Componentes	% de Volumen	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Materia prima después de la cocción (arcilla)	94.52	4312.16	0.0043	1943.40	8.380
Perlititas de Poliestireno	5.48	250.00	0.0003	10.00	0.0025

Tabla 83: Porcentaje en volumen y peso de los componentes del bloque de termoarcilla.

Es importante tomar en cuenta que las perlititas de poliestireno no otorgan peso alguno a la unidad ya cocida, solo se le consideró el peso con la finalidad de realizar el análisis de costos.

El costo de la unidad de bloque de termoarcilla se estableció en función al peso de la misma, calculando tanto el costo por kilogramo de arcilla como de las perlititas de poliestireno contenidas en la mezcla. Para establecer el costo de la arcilla, se calculó el costo por cada kg de material, y de igual manera para el poliestireno.

Componentes	Peso (gr)	Peso (kg)	Costo por kg (S/.)	Costo Parcial (S/.)
Materia prima (arcilla)	8380.0	8.380	0.235	1.971
Esferas de Poliestireno (250 cm <sup>3</sup> )	2.50	0.0025	3.500	0.009

<b>C. U.</b>	<b>1.980</b>
--------------	--------------

Tabla 84: Costo del bloque de termoarcilla.

Se estableció el costo unitario del bloque de termoarcilla en S/. 1.98.



## 11.2. Análisis comparativo de costos

Uno de los aspectos importantes para poder cuantificar que tan beneficioso resulta el emplear bloques de termoarcilla en muros de albañilería frente a la albañilería tradicional a base de ladrillos king kong, es el factor económico.

Es por ello que se realizó un análisis económico, el cual se basa en realizar un comparativo de las diferencias referidas al costo que existen entre los mencionados sistemas de albañilería. Para ello se toma en consideración la partida que presenta un procedimiento constructivo diferente, como lo es el asentado de las unidades.

### 11.2.1. Muro de ladrillo king kong

Se empleará ladrillo king kong infes (El Diamante) con dimensiones de 9 x 13 x 24 cm.

- Junta vertical de mortero: 1 cm
- Junta horizontal de mortero: 1 cm
- Cantidad de mortero por m<sup>2</sup> de muro: 0.0177 m<sup>3</sup>

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Partida:		ASENTADO DE MURO CON LADRILLO KING KONG INFES JUNTA DE 1.0 CM, MEZCLA CEMENTO – ARENA 1:4			
Jornada:		8 h/d	Rendimiento:	Colocación:	10.08 m <sup>2</sup> /día
DESCRIPCIÓN	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0.1	0.079	S/.17.95	S/.1.42
Operario	hh	1	0.794	S/.14.96	S/.11.87
Oficial	hh	0	0.000	S/.12.16	S/.0.00
Peón	hh	1	0.794	S/.10.97	S/.8.70
Costo de Mano de Obra					S/.22.00
<b>MATERIALES</b>					
Cemento Sol Tipo I	bls		0.1249	S/.23.80	S/.2.97
Arena	m3		0.0141	S/.42.00	S/.0.59
Agua	m3		0.0039	S/.4.42	S/.0.02
Ladrillo K.K. Infes 9x13x24	pz.		40.0	S/.1.33	S/.53.16
Costo de Materiales					S/.56.74
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 5%	%		0.030	S/.22.00	S/.0.66
Andamio de madera	p2		0.580	S/.3.50	S/.2.03
Clavos de 3"	kg		0.022	S/.3.00	S/.0.07
Costo de Equipos y Herramientas					S/.2.76
				<b>C.U.</b>	S/.81.50

Tabla 85: Análisis de costos unitarios de asentado de ladrillo king kong infes por m<sup>2</sup>.

### 11.2.2. Muro de bloque de termoarcilla

Se empleará el bloque de termoarcilla diseñado con dimensiones de 18 x 14 x 28.6 cm.

- Junta vertical machihembrada
- Junta horizontal de mortero: 1 cm
- Cantidad de mortero por m<sup>2</sup> de muro: 0.0074 m<sup>3</sup>

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Partida:		ASENTADO DE MURO CON BLOQUE TERMOARCILLA JUNTA DE 1.0 CM, MEZCLA CEMENTO – ARENA 1:4			
Jornada:		8 h/d	Rendimiento:	Colocación:	19.63 m <sup>2</sup> /día
DESCRIPCIÓN	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0.1	0.041	S/.17.95	S/.0.73
Operario	hh	1	0.407	S/.14.96	S/.6.10
Oficial	hh	0	0.000	S/.12.16	S/.0.00
Peón	hh	1	0.407	S/.10.97	S/.4.47
Costo de Mano de Obra					S/.11.30
<b>MATERIALES</b>					
Cemento	bls		0.0519	S/.23.80	S/.1.24
Arena	m3		0.0059	S/.42.00	S/.0.25
Agua	m3		0.0015	S/.4.42	S/.0.01
Bloque Termoarcilla 18x14x28.6	pz.		18.4	S/.1.98	S/.36.44
Costo de Materiales					S/.37.93
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 5%	%		0.030	S/.11.30	S/.0.34
Andamio de madera	p2		0.580	S/.3.50	S/.2.03
Clavos de 3"	kg		0.022	S/.3.00	S/.0.07
Costo de Equipos y Herramientas					S/.2.43
				<b>C.U.</b>	<b>S/.51.66</b>

Tabla 86: Análisis de costos unitarios de asentado de bloque de termoarcilla por m<sup>2</sup>.

Se puede apreciar una marcada diferencia de costos entre el muro a base de ladrillo king kong y el muro de bloque de termoarcilla:

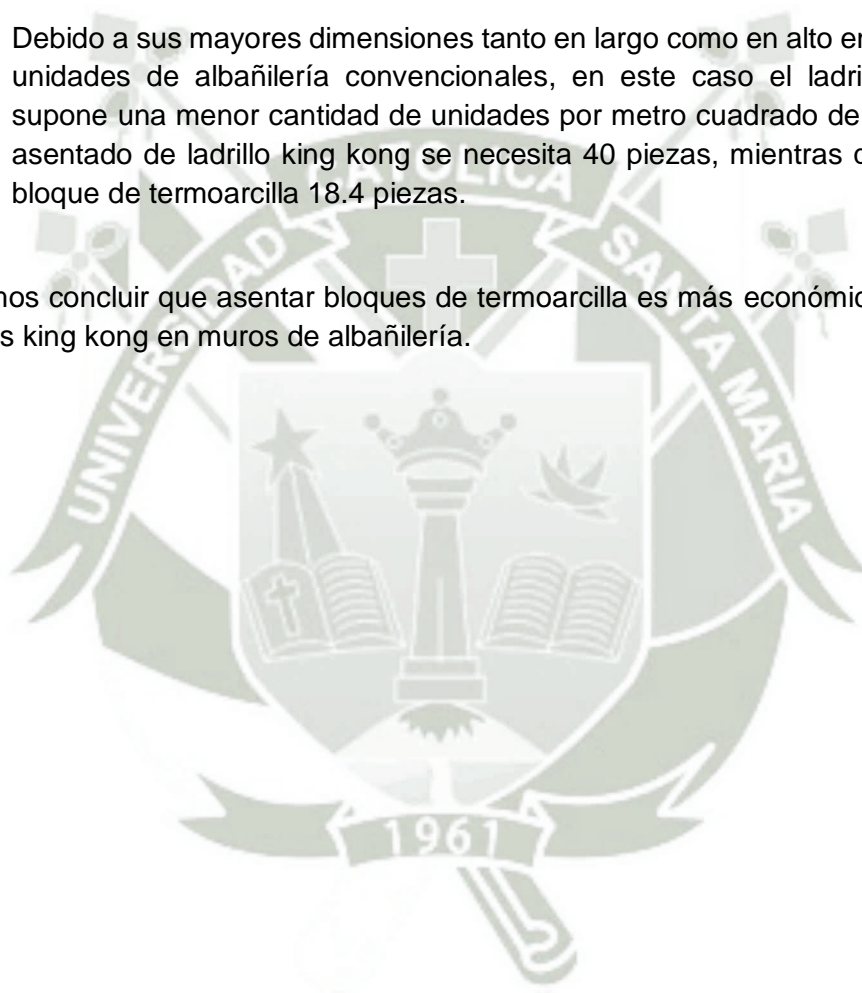
- Muro de ladrillo king kong infes: S/. 81.50 por m<sup>2</sup>.
- Muro de bloque de termoarcilla: S/. 51.66 por m<sup>2</sup>.

La diferencia de costos entre ambos sistemas es de S/. 29.84 por m<sup>2</sup>, monto que supone un ahorro del 36% al emplear bloques de termoarcilla por m<sup>2</sup>.

La principal diferencia entre ambos sistemas se evidencia en esta partida, puesto que uno de ellos, el de bloques de termoarcilla tiene las siguientes ventajas:

- No requiere junta vertical de mortero para su asentado, lo cual implica que el rendimiento de un operario al asentar las unidades varíe considerablemente, teniéndose un rendimiento de  $19.63 \text{ m}^2/\text{día}$  en comparación a los  $10.08 \text{ m}^2/\text{día}$  de un muro de ladrillo king kong infes.
- La ausencia de junta vertical supone un ahorro en volumen de mortero por  $\text{m}^2$  de  $0.0177 \text{ m}^3$  (muro de ladrillo king kong) a  $0.0074 \text{ m}^3$  (muro de bloque termoarcilla), ahorrando un 58% en mezcla de mortero.
- Debido a sus mayores dimensiones tanto en largo como en alto en comparación unidades de albañilería convencionales, en este caso el ladrillo king kong, supone una menor cantidad de unidades por metro cuadrado de muro. Para el asentado de ladrillo king kong se necesita 40 piezas, mientras que para el de bloque de termoarcilla 18.4 piezas.

Podemos concluir que asentar bloques de termoarcilla es más económico que asentar ladrillos king kong en muros de albañilería.



## CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos y discutidos en los capítulos anteriores, las principales conclusiones sobre la investigación desarrollada, cuyo objetivo principal era innovar el diseño morfológico y la composición de la unidad para lograr un bloque de termoarcilla, son las siguientes:

- 1) La unidad de albañilería desarrollada, denominada Bloque de Termoarcilla, constituye el primer producto cerámico producido en Perú que incorpora los conceptos de diseño térmico en la geometría y composición del ladrillo convencional.
- 2) La materia prima empleada en la elaboración de los bloques de termoarcilla fue un suelo arcilloso de baja plasticidad CL, producto de la mezcla del suelo de Jancoca – Languilago en proporción de 4:1, con un índice de plasticidad de 15.20 y composición granulométrica que lo clasifica en la zona D del diagrama de Winkler, zona en donde se permite la producción de unidades macizas y semihuecas de cerámica.
- 3) La óptima composición química de la materia prima, con un porcentaje mayoritario de sílice de 65.77%, alúmina de 13.90% y óxido de sodio de 1.09% se vio reflejada en la buena resistencia mecánica obtenida en los bloques de termoarcilla. Además, el contenido de óxido férrico de 5.31% y el reducido porcentaje de óxido de calcio de 0.45% influyeron positivamente en la tonalidad rojiza obtenida en la unidad elaborada.
- 4) De los 4 diseños desarrollados, la dosificación empleada en el diseño BD2 es la que mejores características otorga a la unidad de bloque de termoarcilla. Para este diseño se empleó una mezcla de materia prima de 80%Jancoca + 20%Languilago, con perlitas de poliestireno de diámetro inferior a 3 mm en proporción de 5.50% del volumen total de la unidad, con una relación materia prima/poliestireno de 17.18.
- 5) Las dimensiones del bloque de termoarcilla diseñado son de 18 x 14 x 28.6 cm (alto x ancho x largo), para el cual se adoptó una geometría compuesta por una trama diagonal central conformada por alveolos oblongos y una serie de alveolos ubicados perpendicularmente a los extremos longitudinales de la unidad, a fin de maximizar el comportamiento térmico de la unidad. Además, se incluyó en el diseño geométrico, juntas machihembradas en los laterales de la unidad para reducir la transmisión térmica en los muros de albañilería.

- 6) En cuanto a los ensayos clasificatorios de la unidad, se obtuvo una resistencia a la compresión de  $182.03 \text{ kg/cm}^2$ , con una máxima variación porcentual dimensional de 0.34% y alabeo de 0.21 mm, clasificando la unidad como Tipo V para fines estructurales.
- 7) De acuerdo a los ensayos no clasificatorios de la unidad, el resultado obtenido para la succión fue de  $39.55 \text{ gr}/(200 \text{ cm}^2\text{-min})$ , por ello es necesario regar las unidades durante media hora un día antes del asentado, para modificar la succión de asentado.
- 8) La absorción de las unidades fue de 14.49%. La Norma E.070 especifica que el valor máximo permisible de absorción es de 22%, por lo que el valor obtenido cumple satisfactoriamente con esta premisa. El coeficiente de saturación obtenido fue de 0.829, valor inferior al máximo permitido de 0.85, mostrando que es una unidad con porosidad aceptable y no demasiado absorbente, indicativo de la durabilidad de la misma.
- 9) La densidad presentada en los bloque de termoarcilla es de  $1.85 \text{ gr/cm}^3$ , menor al valor tradicional de 1.90 a  $2.00 \text{ gr/cm}^3$  para ladrillos cerámicos. Esta menor densidad es producto de la porosidad incorporada en la unidad, la cual también influye en el peso y en la resistencia a compresión del bloque.
- 10) Se obtuvo unidades con la clasificación de no eflorescidas, debido a la recomendable composición química de la materia prima empleada y al excelente acomodo granulométrico generado en la unidad durante el proceso de extrusión.
- 11) Para lograr un bloque de termoarcilla con propiedades adecuadas para su uso en muros de albañilería y en cumplimiento con los requerimientos de las normas peruanas, es necesario realizar un estudio a la composición granulométrica, química y plasticidad de la materia prima a emplear, además de establecer la dosificación correcta de poliestireno en la masa, ya que a medida que la proporción de poliestireno es mayor, se produce un incremento de la porosidad, succión y absorción de la unidad, con la reducción de la densidad y en consecuencia de la resistencia mecánica de la unidad.
- 12) A pesar de ser una unidad con un porcentaje de vacíos superior al 30%, presentó un comportamiento de unidad sólida al ser sometida a los ensayos de resistencia a la compresión, tanto en unidades como en pilas y muretes. Es por ello que, en función al porcentaje de vacíos que presenta del 36.73%, se optó por clasificar a la unidad como perforada, clasificación expuesta por otras normas cuando se tienen unidades con propiedades similares a la diseñada.
- 13) En función a las propiedades del bloque de termoarcilla, se limitará su uso para fines estructurales a las zonas sísmicas 1,2 y 3 para muros portantes en edificios de 1 a 3 pisos.

- 14) Los resultados relacionados al mortero empleado, de proporción cemento – arena 1:4, fue de 5.24 kg/cm<sup>2</sup> para la adherencia al cizalle, valor importante y necesario para generar una buena adherencia en el mortero de las juntas horizontales, puesto que la ausencia de mortero en juntas verticales, reduce significativamente la resistencia al corte de la albañilería. Se obtuvo una resistencia a compresión en los cubos de mortero de 255 kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días de edad.
- 15) La resistencia característica a compresión de la albañilería es de 194.01 kg/cm<sup>2</sup>, resultado que cumple satisfactoriamente con lo indicado en la norma E.070, de 65 kg/cm<sup>2</sup> para ladrillos king kong industrial de arcilla. Se obtuvo un módulo de elasticidad de  $E_m = 534 \text{ f/m}$ , hallado en función al área bruta del espécimen, por brindar valores más críticos en comparación del valor calculado con el área neta.
- 16) Para la resistencia característica a corte de la albañilería con junta vertical machihembrada se obtuvo un valor de 8.31 kg/cm<sup>2</sup>, el cual es mayor al contemplado en la norma E.070 para albañilería con ladrillo king kong. Sin embargo, la falla presentada en los muretes fue escalonada, produciéndose por el deslizamiento de las juntas horizontales de mortero. Consecuentemente, se obtuvo un módulo de corte de  $G_m = 0.36 E_m$ , considerando un módulo de poisson  $\nu = 0.40$ .
- 17) En relación a los beneficios térmicos, el bloque de termoarcilla presenta una conductividad térmica de 0.236 W/(m K), que representa el 50% del valor establecido en la norma EM.110 para unidades de ladrillo king kong industrial (0.47 W/(m K)), mejorando así la capacidad de aislamiento térmico de la unidad.
- 18) El empleo de esferas de poliestireno expandido en la masa arcillosa mejora significativamente el comportamiento térmico de la unidad, ya que supone una mejora del 14% de la conductividad térmica de la unidad.
- 19) Las juntas verticales machihembradas de la unidad representan una disminución de la resistencia al corte de la albañilería, pero conllevan una mejora de la transmitancia térmica de las envolventes Tipo 1A y 2A del 15% en comparación con aquellas que emplean ladrillos king kong y juntas tradicionales de mortero. Dicha reducción de la transmitancia térmica se verá reflejado en el incremento del confort térmico para el usuario y en la reducción de costos relacionados a los sistemas de calefacción y aire acondicionado.
- 20) Se estableció el costo unitario del bloque de termoarcilla en S/. 1.98 en función al peso del mismo, calculando tanto el costo por kilogramo de arcilla como de las perlititas de poliestireno contenidas en la mezcla.
- 21) El empleo del bloque de termoarcilla en muros de albañilería supone un ahorro económico del 36% por m<sup>2</sup> durante el asentado en comparación al ladrillo king kong. Esta disminución de costos se debe en esencia al mejor rendimiento en

obra del personal, la reducción de mezcla de mortero en un 58% durante el asentado de las unidades y la menor cantidad de unidades de bloque de termoarcilla empleadas por m<sup>2</sup>.

Finalmente, se puede indicar que el desarrollo tecnológico logrado, ha permitido mejorar de manera significativa los atributos térmicos de la unidad, sin comprometer sus características físicas y mecánicas, ni su costo. Estas innovaciones son claves para el futuro de la industria asociada a la construcción en albañilería en Perú, dado que, con la nueva reglamentación térmica, los productos existentes en el mercado actual no cumplen con estas exigencias. Por ello, la incorporación de conceptos térmicos en un material con buen comportamiento estructural, aún tiene un vasto camino para nuevos desarrollos, tanto para este sistema constructivo como para sistemas diferentes.



## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda que para la elaboración de bloques de termoarcilla con buena resistencia y durabilidad, se emplee una mezcla de materias primas que modifiquen convenientemente los parámetros necesarios (granulometría, plasticidad y composición química) para obtener unidades de calidad y en cumplimiento de las normas peruanas vigentes.
- 2) Para la elaboración de bloques de termoarcilla por extrusión se recomienda emplear suelos con índice de plasticidad superior a 10 e inferior a 17, con una distribución granulométrica inferior a 2 mm y proporción mayoritaria de partículas mayores a 0.02 mm, manteniendo una humedad de moldeo entre el 20 – 25%.
- 3) Es recomendable emplear suelos con porcentaje de alúmina superior al 10%, óxido de potasio entre 1.5 a 4% y óxido de calcio inferior al 2% para obtener piezas de buena resistencia mecánica y con menos probabilidad de aparición de eflorescencias. A su vez, el contenido de óxido férrico debe ser superior al 3% para lograr tonalidades rojizas en el bloque después de la cocción, manteniendo los porcentajes de óxido de magnesio y sodio no mayor al 3% en conjunto.
- 4) Se recomienda emplear perlitas de poliestireno expandido en una dosificación menor al 12% en volumen y con diámetro inferior a 3 mm, para evitar desconchamientos y fisuras durante el proceso de secado y cocción de las unidades.
- 5) Es recomendable que en el proceso de elaboración de los bloques de termoarcilla se tenga sumo cuidado durante la adición de poliestireno expandido a la masa, ya que una incorrecta dosificación traerá consigo unidades quebradizas en crudo, cuya materia prima no puede ser reutilizada y por tanto significará pérdidas para la empresa productora.
- 6) Para desarrollar un correcto diseño a partir de los conceptos térmicos, es necesario considerar dos aspectos importantísimos: uno en relación a la normativa, ya que esta dará las primeras pautas para trazar los bocetos y la segunda consiste en incorporar a los diseños las restricciones propias del proceso de fabricación de la unidad en estudio. A partir de ello, se podrá elaborar unidades que supongan una solución real y aplicable en el ámbito de la construcción.
- 7) Es importante emplear un adecuado mortero en el asentado de los bloques de termoarcilla, ya que se debe brindar la suficiente adherencia en las juntas horizontales del muro. Se recomienda valores de adherencia al cizalle superiores a 5 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup>.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

A partir de la tesis desarrollada y con la finalidad de ampliar los conocimientos respecto al sistema de albañilería estudiado, se plantean algunas futuras líneas de investigación:

- 1) Se propone realizar el ensayo de carga cíclica lateral a un muro en escala natural, para conocer el comportamiento del bloque de termoarcilla ante cargas sísmicas y el grado de trituración que presenta ante estas solicitaciones.
- 2) Se propone realizar el ensayo acústico al bloque de termoarcilla, para poder establecer también la reducción de la transmisión sonora en este sistema de albañilería.
- 3) Se propone ensayar muros de albañilería de bloque de termoarcilla reforzados con mallas electrosoldadas o similares, para determinar el comportamiento mecánico y las propiedades de la albañilería cuando presenta un módulo de poisson aproximado de 0.25.
- 4) Se propone ensayar muros empleando morteros con resistencia térmica mejorada para lograr el mejoramiento térmico de la albañilería de bloques de termoarcilla, como una solución constructiva integral.
- 5) Se propone realizar estudios a nuevos diseños de unidades cerámicas mecánica y térmicamente mejoradas, que impacten positivamente al mercado nacional, brindando mayores opciones con mejores características y que supongan un ahorro económico para el usuario.
- 6) Debe realizarse un estudio y actualización a la norma E.070 Albañilería, que incluya resultados más aproximados a los obtenidos experimentalmente en la actualidad y que establezca una clasificación más amplia de las unidades empleadas en albañilería.
- 7) Debe establecerse una entidad encargada de normalizar y elaborar las fichas técnicas a nivel de modelo, tipo y marca de las unidades; de manera que se asegure que la unidad cumpla correctamente con las propiedades establecidas en las normas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Afanador García, N., Guerrero Gómez, G., & Monroy Sepulveda, R. (2012). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería*. Colombia.
- [2] Alves de Oliveira, A. (2011). *Tecnología em ceramica*. Brasil: Editora Lara.
- [3] American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM E519-02 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. Anual book of ASTM Standards.
- [4] American Society for Testing and Materials. (2003). ASTM C1314-03b Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. Anual book of ASTM Standards.
- [5] American Society for Testing and Materials. (2004). ASTM C652-04 Standard Specification for Hollow Brick (Hollow Masonry Units Made From Clay or Shale). Anual book of ASTM Standards.
- [6] American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM D6357-11 Test Methods for Determination of Trace Elements in Coal, Coke, & Combustion Residues from Coal Utilization Processes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission, Inductively Coupled Plasma Mass, & Graphite Atomic Absorption Spectrometry. Anual book of ASTM Standards.
- [7] American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM C469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. Anual book of ASTM Standards.
- [8] EBS. (s.f.). *Notes on the Science of Building, Bond Strength in Masonry*. Australia: National Building Technology Center.
- [9] Facincani, E. (1993). *Tecnología cerámica: Los ladrillos*. Italia: Faenza Editrice Ibérica S.L.
- [10] Fernández Abajo, M. (2000). *Manual sobre fabricación de baldosas: tejas y ladrillos*. España: Beralmar.
- [11] Gallegos, H. (Junio, 1995). Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería. *El Ingeniero Civil*(96).
- [12] Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural* (Tercera ed.). Lima: Fondo Editorial Pontifica Universidad Católica del Perú.
- [13] García Verduch, A., & Sanz Solana, V. (1999). *Velos, florescencias y manchas en obras de ladrillo*. España: Faenza Editrice Ibérica, S.L.

- [14] Glogau, O. A. (1974). Masonry Performance in Earthquakes. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 7(4).
- [15] Hábitat. (2016). Retrieved from *Habitat for Humanity International*. Obtenido de <http://www.habitat.org/how>
- [16] Harris G., H., & Gajanan M., S. (1999). *Structural Modeling and Experimental Techniques*. USA, United States of America: CRC Press LLC.
- [17] INDECOPI. (2003). Norma Técnica Peruana NTP 331.017:2003 Unidades de albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Lima, Perú.
- [18] INDECOPI. (2004). Norma Técnica Peruana NTP 399.621:2004 Unidades de albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Lima, Perú.
- [19] INDECOPI. (2005). Norma Técnica Peruana NTP 399.613:2005 Unidades de albañilería. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Lima, Perú.
- [20] INDECOPI. (2013). Norma Técnica Peruana NTP 399.605:2013 Unidades de albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. Lima, Perú.
- [21] INN. (2001). Norma Chilena Oficial NCh 167.Of2001 Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- [22] INN. (2001). Norma Chilena Oficial NCh 168.Of2001 Construcción - Ladrillos cerámicos - Verificación dimensional y geometría. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- [23] INN. (2001). Norma Chilena Oficial NCh 169.Of2001 Construcción - Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- [24] INN. (2007). Norma Chilena Oficial NCh 853-2007 Norma Acondicionamiento térmico - envolvente térmica de edificios - cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Chile: Instituto Nacional de Normalización .
- [25] International Organization for Standardization. (2000). ISO 834 Fire resistance tests. Elements of building construction.
- [26] Kreh, R. (2008). *Masonry Skills*. USA: Cengage Learning.
- [27] Lambe, T., & Whitman , R. V. (1991). *Mecánica de suelos*. Limusa Noriega Editores.
- [28] Mas, E. (s.f.). *Qualidade e Tecnologia em cerâmica vermelha*. Brasil: Polo producoes.
- [29] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de ensayo de materiales. Lima, Perú.

- [30] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.
- [31] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). Norma Técnica de Edificación EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.
- [32] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Informe Nacional de Perú - Hábitat III*. Lima, Perú.
- [33] Randall, F., & Panarese, W. (1976). *Concrete Masonry Handbook*. Skokie: Portland Cement Association.
- [34] San Bartolomé, A., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [35] San Bartolomé, A., Vicente, E., Mendoza, R., & Solano, P. (2003). *Comportamiento a carga lateral cíclica de muros de albañilería armada construidos con bloques de concreto vibrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [36] Zamic, R., & Bosiljkov, V. (1999). Diagonal Tests of Unreinforced Clay Brick Masonry. *Eighth North American Masonry Conference*. USA.



## LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1: Muros masivos de albañilería característicos de la construcción en Sumeria. Fuente Gallegos &amp; Casabonne</i> .....	6
<i>Figura 2: Ruinas de Mohenjo – Daro y Harappa al noroeste de la India.</i> .....	7
<i>Figura 3: Termas de Caracalla en Roma.</i> .....	8
<i>Figura 4: Máquina de Clayton para el proceso de extrusión.</i> .....	8
<i>Figura 5: Edificios multifamiliares de vivienda en el Perú.</i> .....	9
<i>Figura 6: Bloques y ladrillos internacionales. Fuente Cerámica Cottosenese (Italia)</i> .....	29
<i>Figura 7: Recorrido del flujo de calor a través de ladrillos de morfología típica nacional.</i> .....	30
<i>Figura 8: Movimiento convectivo del aire al interior de los alveolos.</i> .....	30
<i>Figura 9: Esquema de traspaso de calor dentro de la cavidad alveolar por radiación.</i> .....	31
<i>Figura 10: Fisuras generadas por exceso de humedad en la masa. Fuente Alves de Oliveira</i> .....	33
<i>Figura 11: Fisuras generadas por exceso de flujo arcilloso en la periferia (izquierda) y en el centro de la pieza (derecha). Fuente Alves de Oliveira</i> .....	33
<i>Figura 12: Encastillado de ladrillos de costado.</i> .....	34
<i>Figura 13: Distribución errada de los alveolos (izquierda) y distribución correcta (derecha).</i> .....	35
<i>Figura 14: Deformación por cargas laterales y detalle de carga puntual en zona débil.</i> .....	35
<i>Figura 15: Esquema de máxima y mínima trayectoria térmica.</i> .....	36
<i>Figura 16: Esquema de puentes térmicos directos e indirectos.</i> .....	36
<i>Figura 17: Distribución de líneas alveolares en el sentido longitudinal de la unidad.</i> .....	37
<i>Figura 18: Cavidad alveolar oblonga para minimizar el efecto convectivo.</i> .....	37
<i>Figura 19: Cavidad alveolar oblonga para minimizar el efecto radiativo.</i> .....	38
<i>Figura 20: Esquemas basados en el principio de aumentar el recorrido del flujo del calor. Geometría basada en a) círculos, b) rectángulos, c) diagonales</i> .....	39
<i>Figura 21: Esquema de cámara interna de aire en la geometría de la unidad.</i> .....	40
<i>Figura 22: Concepto de unión machihembrada para junta vertical.</i> .....	40
<i>Figura 23: Vista en corte de la unidad con elementos granulares en la materia prima.</i> .....	41
<i>Figura 24: Esquema de ensanche de muro.</i> .....	41
<i>Figura 25: Comparación entre el área frontal de un muro de albañilería empleando ladrillo y bloque.</i> ...	42
<i>Figura 26: Configuración básica del marco del bloque.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 27: Diseño geométrico 1.</i> .....	44
<i>Figura 28: Diseño geométrico 2.</i> .....	44
<i>Figura 29: Diseño geométrico 3.</i> .....	45
<i>Figura 30: Diseño geométrico 4.</i> .....	45
<i>Figura 31: Diseño geométrico 5.</i> .....	46
<i>Figura 32: Diseño geométrico 6.</i> .....	46
<i>Figura 33: Diseño geométrico 7.</i> .....	47
<i>Figura 34: Diseño geométrico final del bloque de termoarcilla.</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 35: Perlitas de poliestireno expandido empleadas en el bloque de arcilla.</i> .....	55
<i>Figura 36: Máquina tamizadora.</i> .....	57
<i>Figura 37: Distribución granulométrica de la muestra 1.</i> .....	58
<i>Figura 38: Probetas empleadas para el análisis granulométrico por sedimentación.</i> .....	59
<i>Figura 39: Picnómetro con muestra de suelo en ebullición.</i> .....	59
<i>Figura 40: Cuchara de Casagrande con muestra de suelo.</i> .....	61
<i>Figura 41: Muestras de suelo para el ensayo de limite plástico.</i> .....	61

<i>Figura 42: Muestras de diferentes localidades de Cusco.</i>	63
<i>Figura 43: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps</i>	64
<i>Figura 44: Suelo de la cantera Jancoca.</i>	64
<i>Figura 45: Suelo de Jancoca.</i>	67
<i>Figura 46: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps</i>	68
<i>Figura 47: Suelo de la cantera de Langui.</i>	68
<i>Figura 48: Suelo de Langui.</i>	70
<i>Figura 49: Plano de ubicación de la cantera. Fuente Google Maps</i>	71
<i>Figura 50: Suelo de la cantera Languilago.</i>	71
<i>Figura 51: Suelo de Languilago.</i>	74
<i>Figura 52: Esquema de extrusora Souza con doble cámara de vacío. Fuente Metalúrgica Souza</i>	88
<i>Figura 53: Bloque de termoarcilla recién extruido.</i>	88
<i>Figura 54: Bloques de termoarcilla durante el secado.</i>	89
<i>Figura 55: Bloque de termoarcilla.</i>	91
<i>Figura 56: Ensayo de variación dimensional.</i>	92
<i>Figura 57: Medida de la convexidad del bloque de termoarcilla.</i>	93
<i>Figura 58: Bloque de termoarcilla con refrentado superior e inferior.</i>	94
<i>Figura 59: Ensayo de resistencia a la compresión.</i>	95
<i>Figura 60: Ensayo de porcentaje de vacíos en bloque de termoarcilla.</i>	96
<i>Figura 61: Ensayo de succión en bloque de termoarcilla.</i>	97
<i>Figura 62: Bloques de termoarcilla en poza de agua para el ensayo de absorción.</i>	98
<i>Figura 63: Bloques de termoarcilla durante el ensayo de absorción máxima.</i>	99
<i>Figura 64: Bloque de termoarcilla en sumersión durante el ensayo de densidad.</i>	100
<i>Figura 65: Bloques de termoarcilla sumergidos 2.5 cm en una bandeja durante el ensayo de eflorescencia.</i>	102
<i>Figura 66: Unidad ensayada (izquierda) junto a su par no ensayado (derecha).</i>	102
<i>Figura 67: Ensayo de resistencia a compresión en cubo de mortero.</i>	129
<i>Figura 68: Esquema del ensayo de adherencia al cizalle.</i>	131
<i>Figura 69: Especímenes para el ensayo de adherencia por cizalle.</i>	132
<i>Figura 70: Espécimen colocado en la máquina de ensayo de adherencia por cizalle.</i>	132
<i>Figura 71: Falla por adherencia del espécimen 1.</i>	134
<i>Figura 72: Falla por adherencia del espécimen 2.</i>	134
<i>Figura 73: Falla por adherencia del espécimen 3.</i>	135
<i>Figura 74: Adhesión vs proporción del mortero y succión. Fuente Gallegos &amp; Casabonne</i>	136
<i>Figura 75: Esquema de pilas de bloques de termoarcilla.</i>	137
<i>Figura 76: Control de la horizontalidad de la pila.</i>	138
<i>Figura 77: Pilas formadas por bloques de termoarcilla.</i>	138
<i>Figura 78: Falla por compresión axial en pila P-1.</i>	141
<i>Figura 79: Falla por compresión axial en pila P-2.</i>	141
<i>Figura 80: Falla por compresión axial en pila P-3.</i>	142
<i>Figura 81: Equipo de ensayo para compresión diagonal en muretes.</i>	146
<i>Figura 82: Esquema de murete con junta vertical de mortero (izquierda) y murete con junta vertical machihembrada (derecha).</i>	147
<i>Figura 83: Control de la verticalidad del murete.</i>	148
<i>Figura 84: Muretes construidos con y sin junta vertical de mortero.</i>	148
<i>Figura 85: Sensor LVDT vertical (izquierda) y LVDT horizontal (derecha).</i>	150
<i>Figura 86: Falla mixta en murete M – 1.</i>	151

<i>Figura 87: Falla diagonal en murete M – 2.</i> .....	151
<i>Figura 88: Falla diagonal en murete M – 3.</i> .....	152
<i>Figura 89: Falla escalonada en murete M – 1*.</i> .....	152
<i>Figura 90: Falla escalonada en murete M – 2*.</i> .....	153
<i>Figura 91: Falla escalonada en murete M – 3*.</i> .....	153
<i>Figura 92: Equipo de ensayo de resistencia al fuego.</i> .....	165
<i>Figura 93: Sistema de quemadores del horno de ensayo.</i> .....	165
<i>Figura 94: Registro de temperaturas durante el ensayo térmico.</i> .....	167
<i>Figura 95: Muro de ladrillo king kong (izquierda) y muro de bloque de termoarcilla (derecha).</i> .....	168
<i>Figura 96: Ensayo térmico en muro de ladrillo king kong (izquierda) y muro de bloque de termoarcilla (derecha).</i> .....	168

## LISTADO DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1: Empleo de la arcilla en función a su distribución granulométrica. Fuente Facincani.</i> .....	49
<i>Gráfico 2: Porcentaje de los componentes de los materiales arcillosos para unidades cerámicas.</i> .....	52
<i>Gráfico 3: Consistencia del suelo según el contenido de humedad.</i> .....	60
<i>Gráfico 4: Curva Granulométrica Combinada.</i> .....	65
<i>Gráfico 5: Carta de Casagrande del suelo de Jancoca.</i> .....	65
<i>Gráfico 6: Composición química del suelo de Jancoca.</i> .....	66
<i>Gráfico 7: Curva Granulométrica Combinada.</i> .....	69
<i>Gráfico 8: Carta de Casagrande del suelo de Langui.</i> .....	69
<i>Gráfico 9: Composición química del suelo de Langui.</i> .....	70
<i>Gráfico 10: Curva Granulométrica Combinada.</i> .....	72
<i>Gráfico 11: Carta de Casagrande del suelo de Languilago.</i> .....	73
<i>Gráfico 12: Composición química del suelo de Languilago.</i> .....	73
<i>Gráfico 13: Diagrama de Winkler.</i> .....	75
<i>Gráfico 14: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.</i> .....	76
<i>Gráfico 15: Composición química de las muestras de suelo.</i> .....	76
<i>Gráfico 16: Contenido de óxido de calcio en las muestras de suelo.</i> .....	77
<i>Gráfico 17: Porcentajes de suelo en la composición de la masa arcillosa.</i> .....	78
<i>Gráfico 18: Índice de plasticidad del suelo de Jancoca, Languilago y de la composición de ambos.</i> .....	79
<i>Gráfico 19: Contenido de óxido de calcio de la composición de los suelos.</i> .....	79
<i>Gráfico 20: Curva granulométrica combinada de la masa arcillosa.</i> .....	80
<i>Gráfico 21: Diagrama de Winkler de la masa arcillosa.</i> .....	81
<i>Gráfico 22: Composición química de la masa arcillosa.</i> .....	82
<i>Gráfico 23: Porcentajes en volumen de poliestireno y materia prima para cada diseño.</i> .....	83
<i>Gráfico 24: Proceso de fabricación de las unidades de arcilla.</i> .....	84
<i>Gráfico 25: Comparación de la resistencia a la compresión entre diseños según la relación materia prima/poliestireno.</i> .....	110
<i>Gráfico 26: Porcentaje de vacíos según cada diseño de bloque de termoarcilla.</i> .....	113

<i>Gráfico 27: Coeficiente de saturación correspondiente a cada diseño.....</i>	<i>119</i>
<i>Gráfico 28: Densidad según cada diseño de bloque de termoarcilla.....</i>	<i>121</i>
<i>Gráfico 29: Peso de la unidad vs densidad.....</i>	<i>122</i>
<i>Gráfico 30: Resistencia a la compresión de la unidad vs densidad.....</i>	<i>122</i>
<i>Gráfico 31: Eflorescencia presentada en cada diseño.....</i>	<i>124</i>
<i>Gráfico 32: Curva granulométrica de la arena gruesa empleada en el mortero.....</i>	<i>127</i>
<i>Gráfico 33: Resistencia a compresión del mortero en función a la edad.....</i>	<i>129</i>
<i>Gráfico 34: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 1.....</i>	<i>143</i>
<i>Gráfico 35: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 2.....</i>	<i>144</i>
<i>Gráfico 36: Curva esfuerzo – deformación unitaria de la pila P – 3.....</i>	<i>144</i>
<i>Gráfico 37: Comparación de la resistencia característica a corte de la albañilería.....</i>	<i>155</i>
<i>Gráfico 38: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 1.....</i>	<i>156</i>
<i>Gráfico 39: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 1.....</i>	<i>156</i>
<i>Gráfico 40: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 2.....</i>	<i>157</i>
<i>Gráfico 41: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 2.....</i>	<i>157</i>
<i>Gráfico 42: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 3.....</i>	<i>158</i>
<i>Gráfico 43: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 3.....</i>	<i>158</i>
<i>Gráfico 44: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 1*.....</i>	<i>159</i>
<i>Gráfico 45: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 1*.....</i>	<i>159</i>
<i>Gráfico 46: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 2*.....</i>	<i>160</i>
<i>Gráfico 47: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 2*.....</i>	<i>160</i>
<i>Gráfico 48: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria horizontal del murete M – 3*.....</i>	<i>161</i>
<i>Gráfico 49: Curva Esfuerzo – Deformación unitaria vertical del murete M – 3*.....</i>	<i>161</i>
<i>Gráfico 50: Comparación del módulo de corte en base a la junta vertical empleada en el murete.....</i>	<i>162</i>
<i>Gráfico 51: Curvas de calentamiento del horno.....</i>	<i>169</i>
<i>Gráfico 52: Curva de calentamiento promedio del horno.....</i>	<i>169</i>
<i>Gráfico 53: Curvas de calentamiento del ladrillo.....</i>	<i>170</i>
<i>Gráfico 54: Curvas de calentamiento del mortero.....</i>	<i>171</i>
<i>Gráfico 55: Curvas de calentamiento del horno, ladrillo y mortero.....</i>	<i>171</i>
<i>Gráfico 56: Curvas de calentamiento del horno.....</i>	<i>172</i>
<i>Gráfico 57: Curva de calentamiento promedio del horno.....</i>	<i>172</i>
<i>Gráfico 58: Curvas de calentamiento del bloque de termoarcilla.....</i>	<i>173</i>
<i>Gráfico 59: Curvas de calentamiento de la junta machihembrada.....</i>	<i>174</i>
<i>Gráfico 60: Curvas de calentamiento del horno, bloque de termoarcilla y junta machihembrada.....</i>	<i>174</i>
<i>Gráfico 61: Temperaturas máximas registradas en la cara interior de la unidad de albañilería.....</i>	<i>175</i>
<i>Gráfico 62: Temperaturas máximas registradas en la cara exterior de la unidad de albañilería.....</i>	<i>176</i>
<i>Gráfico 63: Temperaturas máximas registradas en la cara interior de la junta vertical de mortero y junta machihembrada.....</i>	<i>177</i>
<i>Gráfico 64: Temperaturas máximas registradas en la cara exterior de la junta vertical de mortero y junta machihembrada.....</i>	<i>177</i>
<i>Gráfico 65: Esquema de planta principal de vivienda básica.....</i>	<i>178</i>
<i>Gráfico 66: Corte A-A de vivienda básica.....</i>	<i>178</i>
<i>Gráfico 67: Esquema en planta de envolvente tipo 1A.....</i>	<i>179</i>
<i>Gráfico 68: Esquema en planta de envolvente tipo 2A.....</i>	<i>179</i>

## LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1: Valores límites máximos de transmitancia térmica. Fuente Norma EM.110</i>	15
<i>Tabla 2: Características higrométricas de los materiales de construcción. Fuente Norma EM.110</i>	16
<i>Tabla 3: Clasificación de la albañilería estructural. Fuente NTP 331.017</i>	25
<i>Tabla 4: Condiciones de uso de la albañilería de acuerdo a las condiciones de intemperismo. Fuente NTP 331.017</i>	25
<i>Tabla 5: Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales. Fuente E.070</i>	26
<i>Tabla 6: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales. Fuente E.070</i>	27
<i>Tabla 7: Productos nacionales de arcilla para muros portantes.</i>	28
<i>Tabla 8: Distribución del tamaño del grano de las muestras de suelo.</i>	74
<i>Tabla 9: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.</i>	75
<i>Tabla 10: Porcentaje del tamaño de grano en la masa arcillosa.</i>	80
<i>Tabla 11: Composición química de la masa arcillosa.</i>	81
<i>Tabla 12: Diseños de bloque de termoarcilla en función al poliestireno adicionado en la materia prima.</i>	83
<i>Tabla 13: Dimensiones establecidas en la geometría de la unidad.</i>	103
<i>Tabla 14: Resultados de variación dimensional del Diseño BD0.</i>	104
<i>Tabla 15: Resultados de variación dimensional del Diseño BD1.</i>	104
<i>Tabla 16: Resultados de variación dimensional del Diseño BD2.</i>	105
<i>Tabla 17: Resultados de variación dimensional del Diseño BD3.</i>	105
<i>Tabla 18: Variación porcentual de las dimensiones promedio de los diseños.</i>	106
<i>Tabla 19: Resultados de alabeo del Diseño BD0.</i>	106
<i>Tabla 20: Resultados de alabeo del Diseño BD1.</i>	107
<i>Tabla 21: Resultados de alabeo del Diseño BD2.</i>	107
<i>Tabla 22: Resultados de alabeo del Diseño BD3.</i>	108
<i>Tabla 23: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD0.</i>	108
<i>Tabla 24: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD1.</i>	109
<i>Tabla 25: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD2.</i>	109
<i>Tabla 26: Resultados de ensayo de compresión axial del Diseño BD3.</i>	109
<i>Tabla 27: Comparación de la resistencia a la compresión entre diseños según la relación materia prima/poliestireno.</i>	110
<i>Tabla 28: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD0.</i>	111
<i>Tabla 29: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD1.</i>	112
<i>Tabla 30: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD2.</i>	112
<i>Tabla 31: Resultados del porcentaje de vacíos del Diseño BD3.</i>	113
<i>Tabla 32: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD0.</i>	114
<i>Tabla 33: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD1.</i>	114
<i>Tabla 34: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD2.</i>	115
<i>Tabla 35: Resultados del ensayo de succión del Diseño BD3.</i>	115
<i>Tabla 36: Resultados promedio del ensayo de succión correspondiente a cada diseño.</i>	115
<i>Tabla 37: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD0.</i>	116
<i>Tabla 38: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD1.</i>	116
<i>Tabla 39: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD2.</i>	116
<i>Tabla 40: Resultados del ensayo de absorción del Diseño BD3.</i>	117
<i>Tabla 41: Resultados promedio del ensayo de absorción correspondiente a cada diseño.</i>	117
<i>Tabla 42: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD0.</i>	118

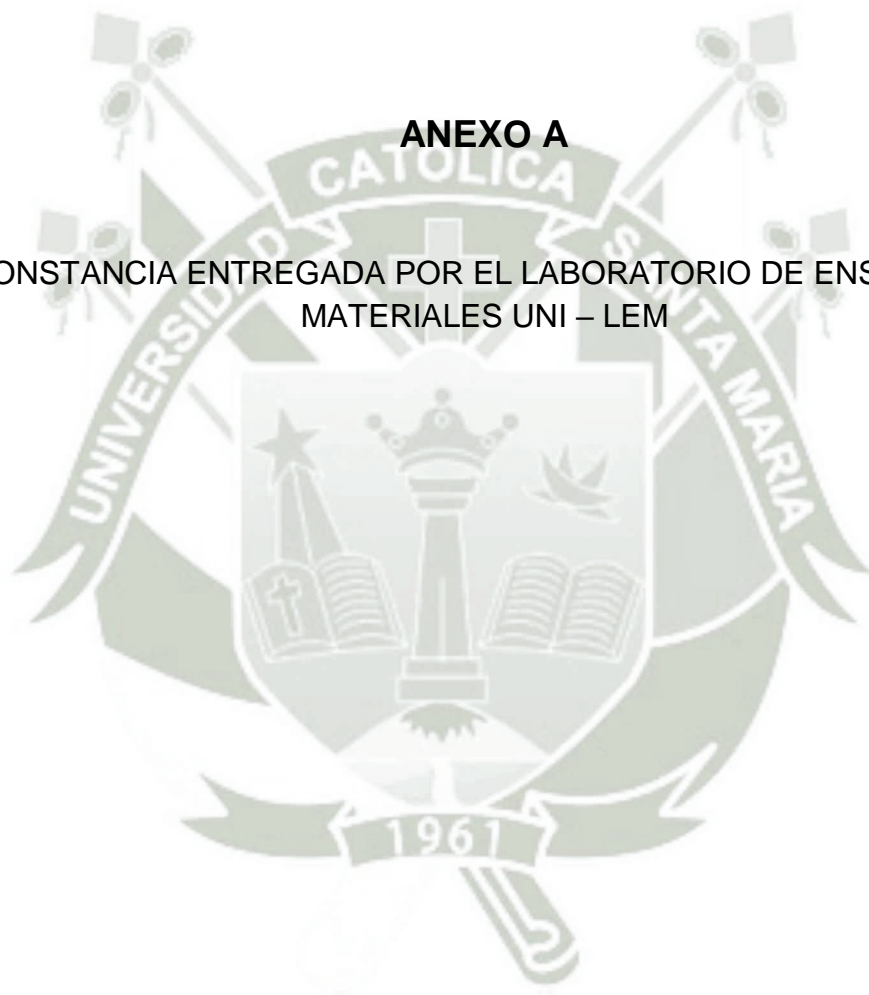
<i>Tabla 43: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD1.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 44: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD2. ....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 45: Resultados del ensayo de absorción máxima y coeficiente de saturación del Diseño BD3. ....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 46: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD0. ....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 47: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD1. ....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 48: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD2. ....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 49: Resultados del ensayo de densidad del Diseño BD3. ....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 50: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD0. ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 51: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD1. ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 52: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD2. ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 53: Resultados del ensayo de eflorescencia del Diseño BD3. ....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 54: Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos a las unidades de albañilería. ....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 55: Granulometría de la arena gruesa. Fuente Norma E.070.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 56: Tipos de mortero en función a la dosificación de los componentes empleados. Fuente E.070</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 57: Resistencia a compresión del mortero.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 58: Características de los ladrillos cerámicos. Fuente NCh169.Of2001 .....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 59: Resultados del ensayo de adherencia al cizalle.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 60: Factores de corrección de <math>f'm</math> por esbeltez. Fuente NTP 399.605 .....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 61: Incremento de <math>f'm</math> y <math>v'm</math> por edad. Fuente Norma E.070.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 62: Resultados del ensayo a compresión en pilas de bloques de termoarcilla .....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 63: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 1. ....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 64: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 2. ....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 65: Resultados del módulo de elasticidad de la pila P – 3. ....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 66: Modulo de elasticidad promedio.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 67: Resultados de ensayo a compresión diagonal en muretes con junta vertical y horizontal de mortero.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 68: Resultados de ensayo a compresión diagonal en muretes con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 69: Módulo de corte del murete M – 1.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 70: Módulo de corte del murete M – 2.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 71: Módulo de corte del murete M – 3.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 72: Módulo de corte del murete M – 1*.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 73: Módulo de corte del murete M – 2*.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 74: Módulo de corte del murete M – 3*.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 75: Módulo de corte de muretes con junta vertical y horizontal de mortero.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 76: Módulo de corte de muretes con junta vertical machihembrada y junta horizontal de mortero.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 77: Resumen de temperaturas máximas registradas.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 78: Envoltente Tipo 1A – Muro de ladrillo King Kong. ....</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 79: Envoltente Tipo 2A – Muro de ladrillo King Kong. ....</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 80: Envoltente Tipo 1A – Muro de bloque de Termoarcilla.....</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 81: Envoltente Tipo 2A – Muro de bloque de Termoarcilla.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 82: Dimensiones del bloque de termoarcilla.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 83: Porcentaje en volumen y peso de los componentes del bloque de termoarcilla. ....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 84: Costo del bloque de termoarcilla.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 85: Análisis de costos unitarios de asentado de ladrillo king kong infes por m<sup>2</sup>. ....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 86: Análisis de costos unitarios de asentado de bloque de termoarcilla por m<sup>2</sup>. ....</i>	<i>187</i>

## ANEXOS

ANEXO A: Constancia entregada por el Laboratorio de Ensayo de Materiales UNI – LEM.....	205
ANEXO B: Constancia entregada por la empresa ladrillera mecanizada Ouro Vermelho Perú E.I.R.L. ....	207
ANEXO C: Análisis de suelo: Muestra 1 – Jancoca.....	209
ANEXO D: Análisis de suelo: Muestra 2 – Langui.....	212
ANEXO E: Análisis de suelo: Muestra 3 – Languilago .....	216
ANEXO F: Análisis químico de las muestras de suelo emitido por el Laboratorio SGS Perú .....	220
ANEXO G: Variación dimensional de unidades de albañilería .....	223
ANEXO H: Alabeo de unidades de albañilería.....	227
ANEXO I: Porcentaje de vacíos en unidades de albañilería.....	229
ANEXO J: Succión en unidades de albañilería .....	231
ANEXO K: Absorción y absorción máxima de unidades de albañilería .....	232
ANEXO L: Densidad de unidades de albañilería.....	233
ANEXO M: Análisis granulométrico por tamizado de arena gruesa para mortero ...	234
ANEXO N: Resistencia a compresión en cubos de mortero.....	235
ANEXO O: Resistencia característica a compresión en pilas de albañilería ( $f'm$ ) ...	236
ANEXO P: Módulo de elasticidad de la albañilería.....	237
ANEXO Q: Resistencia característica a compresión diagonal (corte) en muretes de albañilería ( $v'm$ ) .....	238
ANEXO R: Módulo de corte de la albañilería .....	240

**ANEXO A**

CONSTANCIA ENTREGADA POR EL LABORATORIO DE ENSAYO DE  
MATERIALES UNI – LEM





## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

### Facultad de Ingeniería Civil

#### CONSTANCIA

LA JEFA DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:

La Srta. **Mayra Erika Santos Rocha**, identificada con DNI N° 72040711, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de los siguientes ensayos:

- Compresión en Pilas de Albañilería
- Compresión Diagonal en Muretes de Albañilería
- Ensayo de Flexión (Adherencia) Unidades de Albañilería
- Ensayo de Resistencia al Fuego en Muretes de Albañilería

Los ensayos se realizaron en el marco del trabajo de investigación “Diseño y Elaboración de Bloques de Termoarcilla”, con fines de tesis, se le brindó las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Lima, 05 de Marzo de 2018



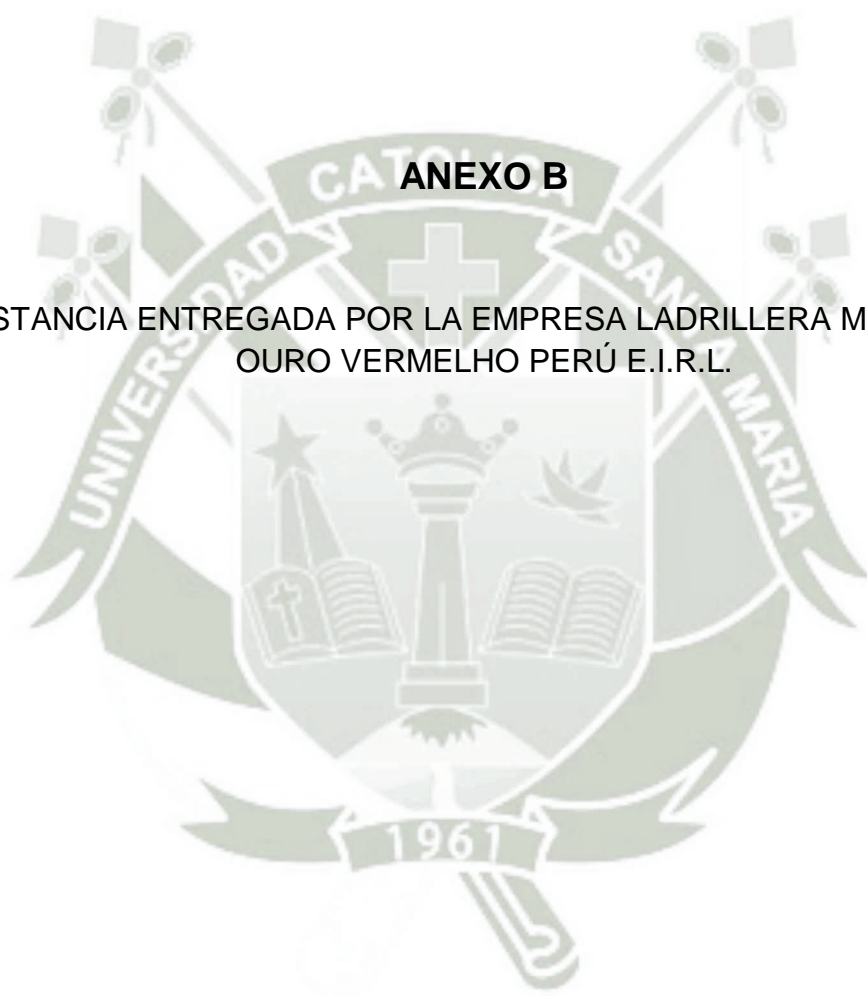
*Ana Torre Carrillo*  
Ms. Ing. ANA TORRE CARRILLO  
Jefe (e) de Laboratorio

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por  
 Engineering  
Technology  
Accreditation  
Commission

**ANEXO B**

CONSTANCIA ENTREGADA POR LA EMPRESA LADRILLERA MECANIZADA  
OURO VERMELHO PERÚ E.I.R.L.





Ladrillera Mecanizada  
Ouro Vermelho Peru E.I.R.Ltda

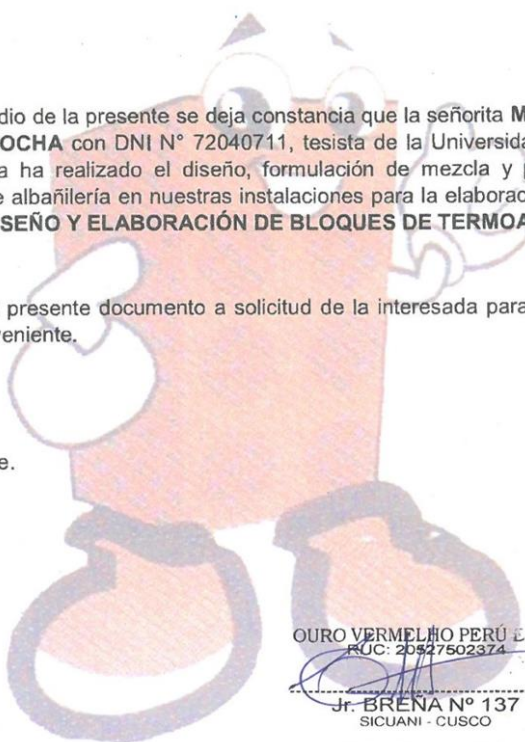
Sicuani, 15 de Diciembre del 2017

### CONSTANCIA

Por intermedio de la presente se deja constancia que la señorita **MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA** con DNI N° 72040711, tesista de la Universidad Católica de Santa María ha realizado el diseño, formulación de mezcla y producción de unidades de albañilería en nuestras instalaciones para la elaboración de la tesis titulada: **"DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA"**.

Se emite el presente documento a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Atentamente.



OURO VERMELHO PERU E.I.R.L.  
RUC: 20827502374

Jr. BREÑA N° 137  
SICUANI - CUSCO

Ing. Erick Santos Sota

Gerente General



Planta Jr. Breña 137 - Sicuani - Cusco - Telf. 351301 - 984903799

## ANEXO C

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : C - 1 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 107 (2016)  
Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

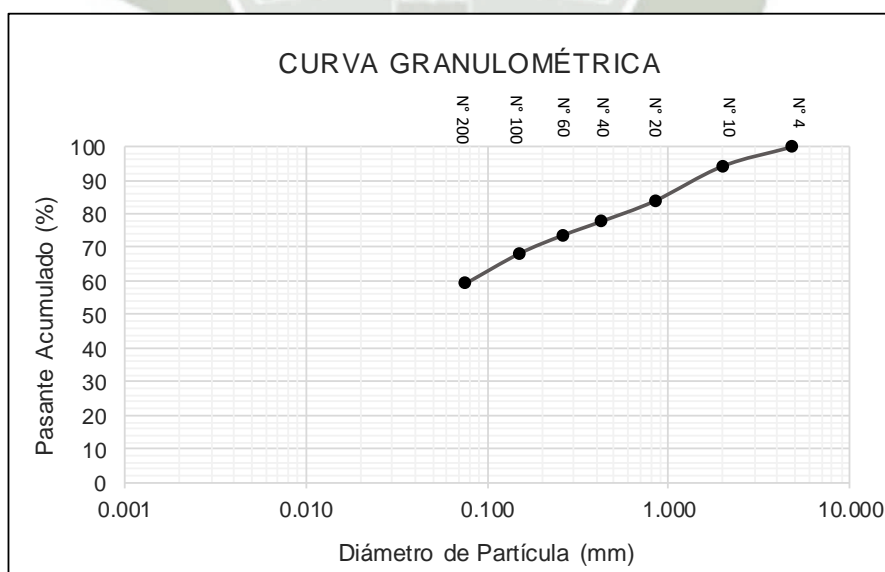
#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 1  
Procedencia : Jancoca - Cusco

#### DATOS DE ENSAYO

Bandeja ID : A  
Peso Bandeja (g) : 146.10  
Peso Inicial Suelo (g) : 1000.00

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8	9.500	0.00	0.000	0.000	100.00
4	4.760	0.00	0.000	0.000	100.000
10	2.000	56.60	5.660	5.660	94.340
20	0.840	104.20	10.420	16.080	83.920
40	0.425	61.00	6.100	22.180	77.820
60	0.260	41.60	4.160	26.340	73.660
100	0.149	54.90	5.490	31.830	68.170
200	0.075	89.80	8.980	40.810	59.190
Fondo	-	591.9	59.190	100.000	0.000
		1000.00			



TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	C - 2	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	MTC E 113 (2016)			
Ensayo	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA			

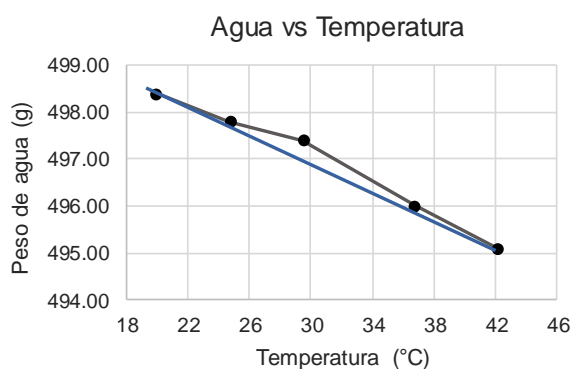
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra	:	1
Procedencia	:	Jancoca - Cusco

DATOS DE ENSAYO

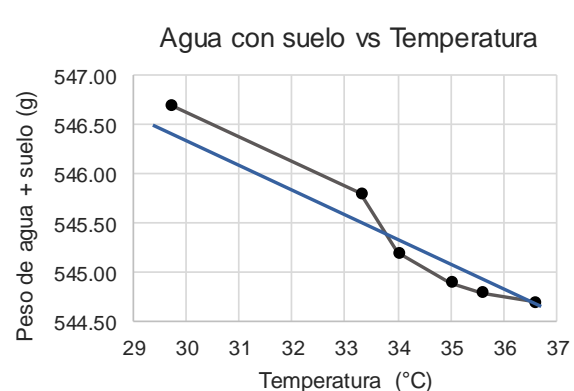
Peso Recipiente Vacío (g)	158.30				
Peso Recipiente + Agua (g)	656.70	656.10	655.70	654.30	653.40
Peso Agua (g)	498.40	497.80	497.40	496.00	495.10
Temperatura (°C)	19.90	24.70	29.50	36.70	42.10

Peso Agua a 30°C (g)	497.00
Temperatura (°C)	30.00
Densidad	0.99565
Coefficiente de temperatura K	0.99744
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30



Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	703.00	703.10	703.20	703.50	704.10	705.00
Peso Agua + Suelo (g)	544.70	544.80	544.90	545.20	545.80	546.70
Temperatura (°C)	36.60	35.60	35.00	34.00	33.30	29.70

Peso Agua + Suelo a 30°C (g)	546.40
Temperatura (°C)	30.00



Volumen Recipiente (cm³)	499.17
Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	704.70
Temperatura (°C)	30.00
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30
Peso Suelo (g)	80.00
Coefficiente de temperatura K	0.99744

Gravedad Específica Gs	2.608
------------------------	-------

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : C - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : MTC E 109 (2016)  
 Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO)

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 1  
 Procedencia : Jancoca - Cusco

DATOS DE ENSAYO

Gravedad Específica de Sólidos	2.608
Peso Inicial Muestra de Suelo (g)	49.50

Hora	Tiempo (min)	Lectura R' (sin corregir)	Temperatura °C	Cm (g/cm3)	Ct (g/cm3)	Cd	R corregido	Prof. Efectiva L (cm)	K	Diámetro (mm)	% Más fino	% Pasante
9:40:00 a. m.	0	1.0119	18.90	0.0006	-0.0002	0.00069	1.0125	13.00	0.01401	0.1011	3.315	96.685
9:40:00 a. m.	1	1.0100	18.90	0.0006	-0.0002	0.00069	1.0106	13.52	0.01401	0.0729	3.309	93.377
9:41:00 a. m.	1	1.0080	18.90	0.0006	-0.0002	0.00069	1.0086	14.02	0.01401	0.0525	3.302	90.075
9:42:00 a. m.	2	1.0074	18.90	0.0006	-0.0002	0.00069	1.0080	14.20	0.01401	0.0373	3.300	86.775
9:43:00 a. m.	3	1.0069	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0075	14.30	0.01400	0.0306	3.298	83.476
9:44:00 a. m.	4	1.0061	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0067	14.49	0.01400	0.0266	3.296	80.180
9:46:00 a. m.	6	1.0048	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0054	14.88	0.01400	0.0220	3.292	76.889
9:48:00 a. m.	8	1.0043	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0049	15.02	0.01400	0.0192	3.290	73.599
9:55:00 a. m.	15	1.0031	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0037	15.29	0.01400	0.0141	3.286	70.313
10:10:00 a. m.	30	1.0025	19.30	0.0006	-0.0001	0.00076	1.0031	15.47	0.01395	0.0100	3.284	67.029
10:25:00 a. m.	45	1.0021	19.60	0.0006	-0.0001	0.00082	1.0027	15.59	0.01389	0.0082	3.283	63.746
10:40:00 a. m.	60	1.0020	19.70	0.0006	-0.0001	0.00084	1.0026	15.62	0.01388	0.0071	3.282	60.464
11:10:00 a. m.	90	1.0016	20.50	0.0006	0.0001	0.00100	1.0022	15.74	0.01374	0.0057	3.281	57.183
11:40:00 a. m.	120	1.0013	21.00	0.0006	0.0002	0.00110	1.0019	15.82	0.01366	0.0050	3.280	53.903
12:10:00 p. m.	150	1.0012	21.40	0.0006	0.0003	0.00118	1.0018	15.84	0.01359	0.0044	3.280	50.623
12:40:00 p. m.	180	1.0011	21.70	0.0006	0.0003	0.00124	1.0017	15.87	0.01354	0.0040	3.279	47.344
1:10:00 p. m.	210	1.0010	22.00	0.0006	0.0004	0.00130	1.0016	15.88	0.01350	0.0037	3.279	44.065
1:40:00 p. m.	240	1.0009	23.50	0.0006	0.0007	0.00160	1.0015	15.90	0.01326	0.0034	3.279	40.786
9:40:00 a. m.	1440	1.0012	18.00	0.0006	-0.0003	0.00060	1.0018	15.84	0.01417	0.0015	3.280	37.506

## ANEXO D

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : D - 1 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 107 (2016)  
Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

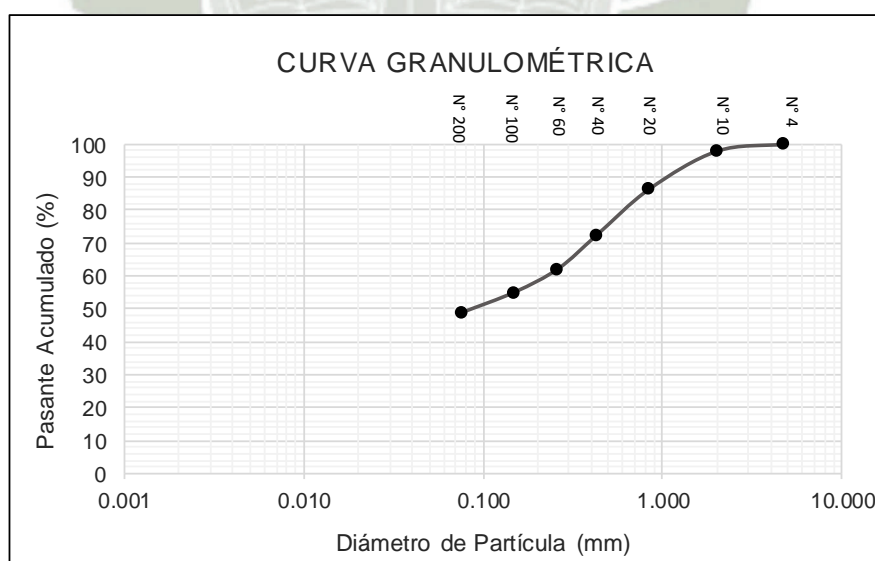
### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 2  
Procedencia : Langui - Cusco

### DATOS DE ENSAYO

Bandeja ID : B  
Peso Bandeja (g) : 148.20  
Peso Inicial Suelo (g) : 1000.00

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8	9.500	0.00	0.000	0.000	100.00
4	4.760	0.00	0.000	0.000	100.000
10	2.000	21.10	2.110	2.110	97.890
20	0.840	115.10	11.510	13.620	86.380
40	0.425	141.70	14.170	27.790	72.210
60	0.260	101.90	10.190	37.980	62.020
100	0.149	71.20	7.120	45.100	54.900
200	0.075	63.30	6.330	51.430	48.570
Fondo	-	485.7	48.570	100.000	0.000
		1000.00			



TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	D - 2	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	MTC E 113 (2016)			
Ensayo	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA			

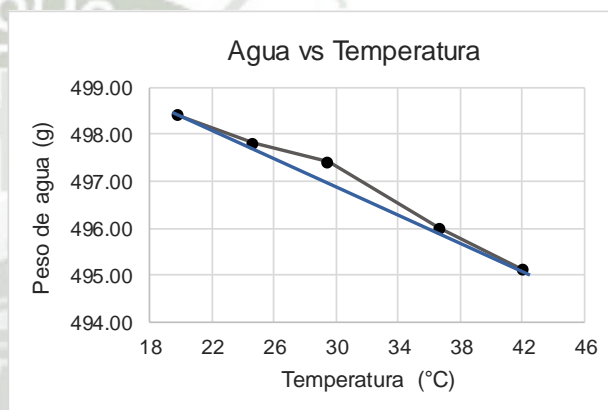
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra	:	2
Procedencia	:	Langui - Cusco

DATOS DE ENSAYO

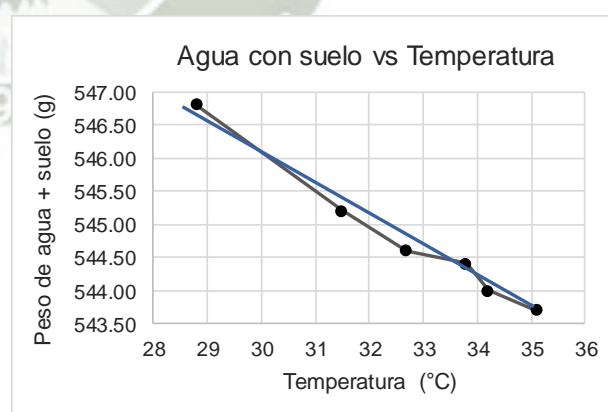
Peso Recipiente Vacío (g)	158.30				
Peso Recipiente + Agua (g)	656.70	656.10	655.70	654.30	653.40
Peso Agua (g)	498.40	497.80	497.40	496.00	495.10
Temperatura (°C)	19.90	24.70	29.50	36.70	42.10

Peso Agua a 30°C (g)	497.00
Temperatura (°C)	30.00
Densidad	0.99565
Coefficiente de temperatura K	0.99744
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30



Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	702.00	702.30	702.70	702.90	703.50	705.10
Peso Agua + Suelo (g)	543.70	544.00	544.40	544.60	545.20	546.80
Temperatura (°C)	35.10	34.20	33.80	32.70	31.50	28.80

Peso Agua + Suelo a 30°C (g)	546.20
Temperatura (°C)	30.00



Volumen Recipiente (cm³)	499.17
Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	704.50
Temperatura (°C)	30.00
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30
Peso Suelo (g)	80.00
Coefficiente de temperatura K	0.99744

Gravedad Específica Gs	2.591
------------------------	-------

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : D - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : MTC E 109 (2016)  
 Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO)

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 2  
 Procedencia : Langui - Cusco

DATOS DE ENSAYO

Gravedad Específica de Sólidos	2.591
Peso Inicial Muestra de Suelo (g)	49.50

Hora	Tiempo (min)	Lectura R' (sin corregir)	Temperatura °C	Cm (g/cm3)	Ct (g/cm3)	Cd	R corregido	Prof. Efectiva L (cm)	K	Diámetro (mm)	% Más fino	% Pasante
9:00:00 a. m.	0	1.0117	18.60	0.0006	-0.0002	0.00066	1.0123	13.10	0.01414	0.1024	3.328	96.672
9:00:00 a. m.	1	1.0095	18.60	0.0006	-0.0002	0.00066	1.0101	13.61	0.01414	0.0738	3.320	93.352
9:01:00 a. m.	1	1.0079	18.60	0.0006	-0.0002	0.00066	1.0085	13.98	0.01414	0.0529	3.315	90.037
9:02:00 a. m.	2	1.0072	18.70	0.0006	-0.0002	0.00067	1.0078	14.25	0.01412	0.0377	3.313	86.724
9:03:00 a. m.	3	1.0068	18.70	0.0006	-0.0002	0.00067	1.0074	14.46	0.01412	0.0310	3.312	83.412
9:04:00 a. m.	4	1.0058	18.70	0.0006	-0.0002	0.00067	1.0064	14.70	0.01412	0.0271	3.308	80.104
9:06:00 a. m.	6	1.0047	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0053	14.95	0.01407	0.0222	3.305	76.799
9:08:00 a. m.	8	1.0040	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0046	15.13	0.01407	0.0194	3.302	73.497
9:15:00 a. m.	15	1.0029	19.00	0.0006	-0.0002	0.00070	1.0035	15.33	0.01407	0.0142	3.299	70.198
9:30:00 a. m.	30	1.0024	19.20	0.0006	-0.0002	0.00074	1.0030	15.45	0.01404	0.0101	3.297	66.901
9:45:00 a. m.	45	1.0019	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0025	15.61	0.01400	0.0082	3.295	63.606
10:00:00 a. m.	60	1.0018	19.70	0.0006	-0.0001	0.00084	1.0024	15.66	0.01395	0.0071	3.295	60.311
10:30:00 a. m.	90	1.0015	20.20	0.0006	0.0000	0.00094	1.0021	15.78	0.01387	0.0058	3.294	57.017
11:00:00 a. m.	120	1.0011	20.80	0.0006	0.0002	0.00106	1.0017	15.89	0.01376	0.0050	3.293	53.724
11:30:00 a. m.	150	1.0010	21.40	0.0006	0.0003	0.00118	1.0016	15.93	0.01367	0.0045	3.292	50.431
12:00:00 p. m.	180	1.0009	21.70	0.0006	0.0003	0.00124	1.0015	15.96	0.01362	0.0041	3.292	47.139
12:30:00 p. m.	210	1.0008	22.30	0.0006	0.0005	0.00136	1.0014	15.89	0.01352	0.0037	3.292	43.847
1:00:00 p. m.	240	1.0009	23.50	0.0006	0.0007	0.00160	1.0015	15.97	0.01333	0.0034	3.292	40.555
9:00:00 a. m.	1440	1.0013	18.50	0.0006	-0.0003	0.00065	1.0019	15.99	0.01416	0.0015	3.293	37.262

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : D - 4 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 110 (2016) - MTC E 111 (2016)  
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 2  
Procedencia : Langui - Cusco

LÍMITE LÍQUIDO

Rango Objtivo de Golpes	40-30	30-25	25-20	20-15
Numero de Golpes	35	26	23	15
Recipiente ID	1	2	3	4
Peso de Recipiente (g)	28.50	27.30	28.40	27.40
Peso de Suelo Húmedo + Recipiente (g)	62.40	54.60	70.20	66.70
Peso de Suelo Seco + Recipiente (g)	55.30	48.80	61.00	57.80
Peso de Suelo Humedo (g)	33.90	27.30	41.80	39.30
Peso de Suelo Seco (g)	26.80	21.50	32.60	30.40
Peso de Agua (g)	7.10	5.80	9.20	8.90
Contenido de Humedad %	26.49	26.98	28.22	29.28

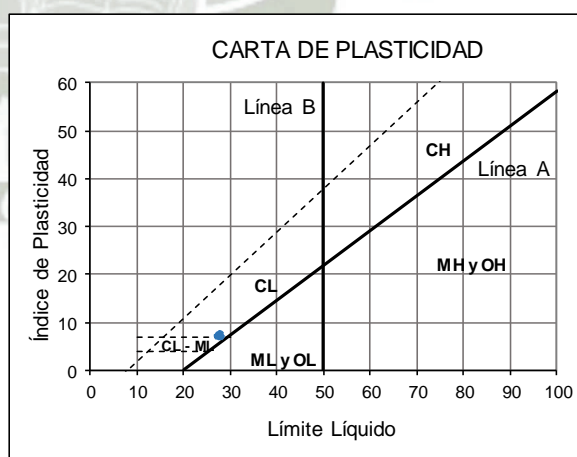
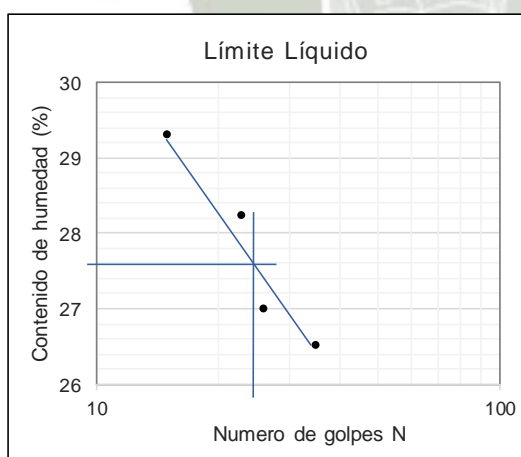
LÍMITE PLÁSTICO

Recipiente ID	1	2	3
Peso de Plato(g)	4.40	4.30	4.30
Peso de Suelo Humedo + Plato (g)	10.50	10.90	11.30
Peso de Suelo Seco + Lata (g)	9.40	9.80	10.20
Peso de Suelo Humedo (g)	6.10	6.60	7.00
Peso de Suelo Seco (g)	5.00	5.50	5.90
Peso de Agua (g)	1.10	1.10	1.10
Contenido de Humedad %	22.00%	20.00%	18.64%

RESUMEN

Límite Líquido LL	27.60
Límite Plástico LP	20.21
Índice de Plasticidad IP	7.39

CL - ML: Arcilla - limo de baja plast.



## ANEXO E

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : E - 1 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 107 (2016)  
Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

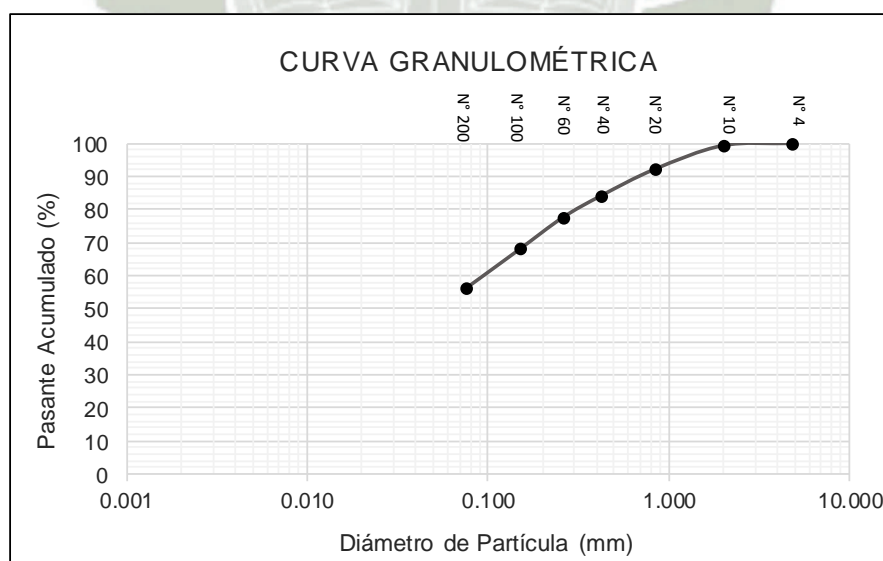
### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 3  
Procedencia : Languilago - Cusco

### DATOS DE ENSAYO

Bandeja ID : C  
Peso Bandeja (g) : 149.20  
Peso Inicial Suelo (g) : 1000.00

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8	9.500	0.00	0.000	0.000	100.00
4	4.760	0.00	0.000	0.000	100.000
10	2.000	6.70	0.670	0.670	99.330
20	0.840	71.20	7.120	7.790	92.210
40	0.425	79.60	7.960	15.750	84.250
60	0.260	66.00	6.600	22.350	77.650
100	0.149	96.70	9.670	32.020	67.980
200	0.075	118.10	11.810	43.830	56.170
Fondo	-	561.7	56.170	100.000	0.000
		1000.00			



TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	E - 2	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	MTC E 113 (2016)			
Ensayo	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO DE AGUA			

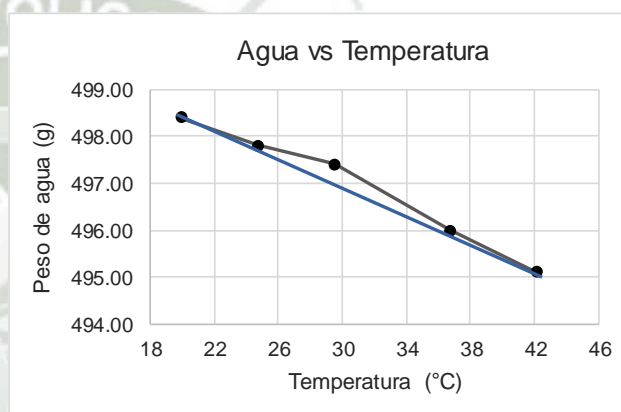
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra	:	3
Procedencia	:	Languilago - Cusco

DATOS DE ENSAYO

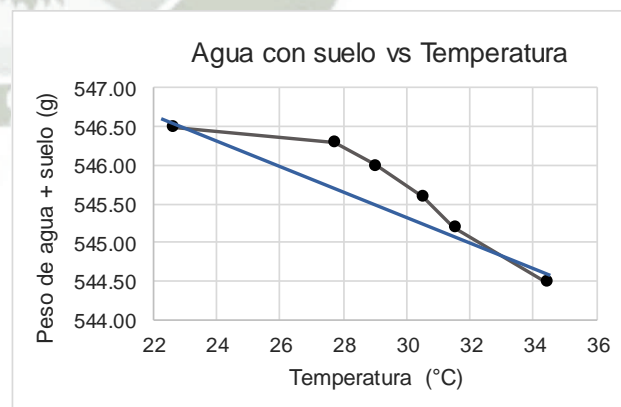
Peso Recipiente Vacío (g)	158.30				
Peso Recipiente + Agua (g)	656.70	656.10	655.70	654.30	653.40
Peso Agua (g)	498.40	497.80	497.40	496.00	495.10
Temperatura (°C)	19.90	24.70	29.50	36.70	42.10

Peso Agua a 30°C (g)	497.00
Temperatura (°C)	30.00
Densidad	0.99565
Coefficiente de temperatura K	0.99744
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30



Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	704.80	704.60	704.30	703.90	703.50	702.80
Peso Agua + Suelo (g)	546.50	546.30	546.00	545.60	545.20	544.50
Temperatura (°C)	22.60	27.70	29.00	30.50	31.50	34.40

Peso Agua + Suelo a 30°C (g)	545.60
Temperatura (°C)	30.00



Volumen Recipiente (cm³)	499.17
Peso Recip. + Agua + Suelo (g)	703.90
Temperatura (°C)	30.00
Peso Recipiente + Agua (g)	655.30
Peso Suelo (g)	80.00
Coefficiente de temperatura K	0.99744

Gravedad Específica Gs	2.541
------------------------	-------

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : E - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : MTC E 109 (2016)  
 Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO)

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 3  
 Procedencia : Languilago - Cusco

DATOS DE ENSAYO

Gravedad Específica de Sólidos	2.541
Peso Inicial Muestra de Suelo (g)	49.50

Hora	Tiempo (min)	Lectura R' (sin corregir)	Temperatura °C	Cm (g/cm3)	Ct (g/cm3)	Cd	R corregido	Prof. Efectiva L (cm)	K	Diámetro (mm)	% Más fino	% Pasante
10:10:00 a. m.	0	1.0110	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0116	13.22	0.01422	0.1034	3.367	96.633
10:10:00 a. m.	1	1.0099	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0105	13.55	0.01422	0.0740	3.363	93.270
10:11:00 a. m.	1	1.0085	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0091	13.88	0.01422	0.0530	3.358	89.912
10:12:00 a. m.	2	1.0065	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0071	14.38	0.01422	0.0381	3.352	86.561
10:13:00 a. m.	3	1.0059	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0065	14.55	0.01422	0.0313	3.350	83.211
10:14:00 a. m.	4	1.0051	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0057	14.79	0.01422	0.0273	3.347	79.864
10:16:00 a. m.	6	1.0038	19.40	0.0006	-0.0001	0.00078	1.0044	15.12	0.01422	0.0226	3.343	76.521
10:18:00 a. m.	8	1.0036	19.50	0.0006	-0.0001	0.00080	1.0042	15.16	0.01421	0.0196	3.342	73.179
10:25:00 a. m.	15	1.0025	19.60	0.0006	-0.0001	0.00082	1.0031	15.47	0.01419	0.0144	3.338	69.841
10:40:00 a. m.	30	1.0020	20.10	0.0006	0.0000	0.00092	1.0026	15.62	0.01410	0.0102	3.337	66.505
10:55:00 a. m.	45	1.0015	20.30	0.0006	0.0001	0.00096	1.0021	15.77	0.01407	0.0083	3.335	63.170
11:10:00 a. m.	60	1.0013	20.70	0.0006	0.0001	0.00104	1.0019	15.82	0.01400	0.0072	3.334	59.835
11:40:00 a. m.	90	1.0012	21.30	0.0006	0.0003	0.00116	1.0018	15.84	0.01390	0.0058	3.334	56.501
12:10:00 p. m.	120	1.0010	21.50	0.0006	0.0003	0.00120	1.0016	15.88	0.01387	0.0050	3.333	53.168
12:40:00 p. m.	150	1.0010	21.75	0.0006	0.0004	0.00125	1.0016	15.89	0.01382	0.0045	3.333	49.835
1:10:00 p. m.	180	1.0008	22.00	0.0006	0.0004	0.00130	1.0014	15.93	0.01378	0.0041	3.332	46.502
1:40:00 p. m.	210	1.0007	22.30	0.0006	0.0005	0.00136	1.0013	15.94	0.01373	0.0038	3.332	43.170
10:10:00 a. m.	1440	1.0012	18.30	0.0006	-0.0003	0.00063	1.0018	15.84	0.01365	0.0014	3.334	39.836

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : E - 4 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 110 (2016) - MTC E 111 (2016)  
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : 3  
Procedencia : Languilago - Cusco

LÍMITE LÍQUIDO

Rango Objtivo de Golpes	40-30	30-25	25-20	20-15
Numero de Golpes	38	27	23	19
Recipiente ID	1	2	3	4
Peso de Recipiente (g)	28.00	28.70	27.40	27.70
Peso de Suelo Húmedo + Recipiente (g)	58.90	54.80	56.60	49.50
Peso de Suelo Seco + Recipiente (g)	52.00	48.90	49.90	44.50
Peso de Suelo Humedo (g)	30.90	26.10	29.20	21.80
Peso de Suelo Seco (g)	24.00	20.20	22.50	16.80
Peso de Agua (g)	6.90	5.90	6.70	5.00
Contenido de Humedad %	28.75	29.21	29.78	29.76

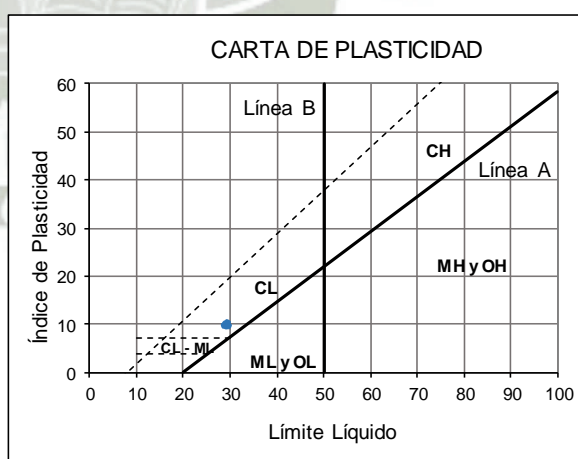
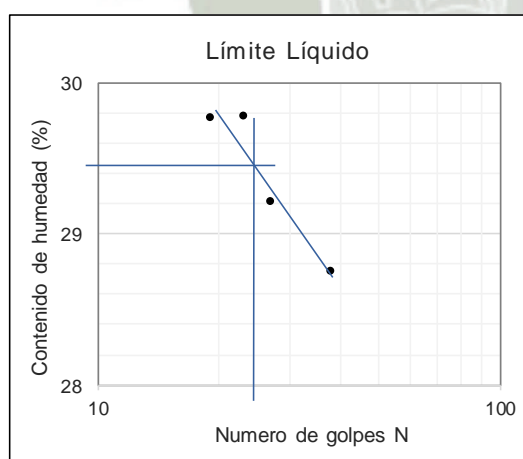
LÍMITE PLÁSTICO

Recipiente ID	1	2	3
Peso de Plato(g)	4.40	4.30	4.40
Peso de Suelo Humedo + Plato (g)	10.90	10.70	10.90
Peso de Suelo Seco + Lata (g)	9.80	9.60	9.90
Peso de Suelo Humedo (g)	6.50	6.40	6.50
Peso de Suelo Seco (g)	5.40	5.30	5.50
Peso de Agua (g)	1.10	1.10	1.00
Contenido de Humedad %	20.37%	20.75%	18.18%

RESUMEN

Límite Líquido LL	29.45
Límite Plástico LP	19.77
Índice de Plasticidad IP	9.68

CL: Arcilla de baja plasticidad



## ANEXO F

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO EMITIDO POR EL  
LABORATORIO SGS PERÚ





**INFORME DE ENSAYO**  
**GQ1700937**

Página 1 de 2

**A solicitud de:** OURO VERMELHO PERU E.I.R.L.  
JR. BREÑA NRO. 137 CANCHIS (DETRAS DEL GRIFO VILCANOTA TECHO OBRERO) CUSCO - CANCHIS - SICUANI

**Por cuenta de:** OURO VERMELHO PERU E.I.R.L.  
JR. BREÑA NRO. 137 CANCHIS (DETRAS DEL GRIFO VILCANOTA TECHO OBRERO) CUSCO - CANCHIS - SICUANI

**Producto descrito como:** PULPAS - Muestra Exploración Geoquímica y/o Menas

**Tipo de Análisis:** ANALISIS QUIMICO

**Localidad de preparación:** AREQUIPA

**Descripción del Estado y Condición de la Muestra:** En bolsas de plástico con nudo

Finas a 200 mesh.  
Peso aprox. de 120 g secas.

**Referencia Cliente:** Solicitud 18/04/2017

**Cantidad Muestras:** 3

**Fecha de Recepción:** 18/04/2017

**Fecha de Ensayo:** Del 18/04/2017  
Al 26/04/2017

Esquema	Método
ICP95A	SGS-MN-ME-165 / Agosto 2013 Rev.02 / Muestras de Exploración Geoquímica: Fusión con Metaborato de Lito
CPE	SGS-MN-ME-163 / Noviembre 2013/ Rev.02/ Muestras de Exploración y Minerales: Pérdida por Calcinación
PMI_CH	Peso de Muestra Recibido
PMI_M140	ASTM E 276-68 / Particle Size or screen analysis at N°4 (4.75-mm) Sieve and finer for Metal bearing ores and related materials

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Al2O3 ICP95A %	Ba ICP95A ppm	CaO ICP95A %	Cr2O3 ICP95A %	Fe2O3 ICP95A %	K2O ICP95A %	MgO ICP95A %	MnO ICP95A %
MUESTRA 1	13.62	492	0.28	0.01	5.44	3.25	1.92	0.09
MUESTRA 2	15.36	772	7.72	<0.01	5.43	2.29	2.28	0.14
MUESTRA 3	15.02	736	1.13	<0.01	4.80	2.02	1.33	0.09
DUP MUESTRA 3	14.87	716	1.08	<0.01	4.85	2.04	1.31	0.08

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Na2O ICP95A %	Nb ICP95A ppm	P2O5 ICP95A %	SiO2 ICP95A %	Sr ICP95A ppm	TiO2 ICP95A %	Y ICP95A ppm	Zn ICP95A ppm
MUESTRA 1	0.68	55	0.05	66.44	72	1.11	33	72
MUESTRA 2	1.68	30	0.29	50.24	351	0.55	28	167
MUESTRA 3	2.74	29	0.22	63.10	387	0.80	19	150
DUP MUESTRA 3	2.70	28	0.24	62.94	359	0.75	20	151

Elemento Esquema Unidad Limite de Detección	Zr ICP95A ppm	Sum ICP95A %	LOI CPE %	Peso Muestra PMI_CH g	P_MEN140 PMI_M140 %
MUESTRA 1	472	99.64	6.75	56.37	97
MUESTRA 2	119	99.87	13.89	52.31	--
MUESTRA 3	374	99.99	8.73	54.83	--
DUP MUESTRA 3	348	99.21	8.35	--	--

Notas de Almacenaje:  
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para Remanentes o Pulpas y 30 días para Rechazos o Gruesas, se procederá a descartar las muestras. Favor no considerar esta información si se presentaran instrucciones al inicio del servicio.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao t (51-1) 517 1900

[www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)


Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

**SGS**

**INFORME DE ENSAYO  
GQ1700937**

Página 2 de 2

Emitido en Callao-Perú el , 26/04/2017

  
**Edgar Zárate Aguilar**  
Supervisor de Laboratorio  
C.I.P. 22151

COD. 310

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 [www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)  
Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

## ANEXO G

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : G - 1	Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo : NTP 399.613:2017	
Ensayo : VARIACIÓN DIMENSIONAL DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	
Diseño : BD0	

Espécimen	Largo (mm)																
	Cara Superior							Cara Inferior							Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio			
BD0 - 1	286.0	286.5	287.0	287.0	286.0	285.7	286.37	285.1	285.5	285.5	285.5	286.0	287.0	285.77	286.20	286.00	286.08
BD0 - 2	287.0	286.0	286.5	285.5	286.0	286.0	286.17	286.0	287.0	286.5	286.0	285.0	286.0	286.08	286.00	285.90	286.04
BD0 - 3	286.0	287.0	287.5	286.0	286.0	287.0	286.58	287.0	286.3	286.3	286.5	286.5	286.5	286.52	286.50	287.00	286.65
BD0 - 4	286.0	286.0	285.5	285.0	285.0	285.5	285.50	285.3	286.0	286.0	285.5	285.0	285.0	285.47	285.50	286.00	285.62
BD0 - 5	285.5	285.5	286.0	286.0	287.0	286.0	286.00	286.0	286.5	286.0	287.0	287.0	286.5	286.50	286.00	286.30	286.20
BD0 - 6	286.0	286.0	286.5	286.5	285.0	285.0	285.83	285.5	286.0	286.0	286.5	285.8	286.0	285.97	285.50	285.50	285.70
BD0 - 7	285.7	286.0	286.0	286.0	286.3	286.3	286.05	286.0	286.0	285.8	285.8	286.0	287.0	286.10	286.00	286.00	286.04
BD0 - 8	286.0	287.0	287.0	287.0	286.5	286.0	286.58	286.5	286.0	286.0	286.1	286.0	286.0	286.10	286.50	286.50	286.42
BD0 - 9	285.8	286.0	286.0	285.5	285.5	286.0	285.80	285.5	286.0	285.0	285.0	286.0	285.0	285.42	285.00	285.50	285.43
BD0 - 10	286.5	286.0	286.5	286.5	286.0	286.5	286.33	286.5	285.0	286.0	285.3	286.0	286.5	285.88	285.80	286.50	286.13
																Promedio	286.03

Espécimen	Ancho (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD0 - 1	139.7	140.5	140.0	141.0	140.30
BD0 - 2	140.5	141.0	141.5	140.0	140.75
BD0 - 3	140.0	141.5	139.5	139.0	140.00
BD0 - 4	140.0	141.0	141.0	139.7	140.43
BD0 - 5	141.0	142.0	140.5	140.0	140.88
BD0 - 6	139.5	139.8	140.0	139.5	139.70
BD0 - 7	140.0	139.5	140.5	140.5	140.13
BD0 - 8	140.0	140.3	141.0	140.3	140.40
BD0 - 9	139.0	139.5	140.3	140.0	139.70
BD0 - 10	138.5	140.0	139.0	140.5	139.50
				Promedio	140.18

Espécimen	Alto (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD0 - 1	180.5	180.0	181.0	181.5	180.75
BD0 - 2	180.0	179.5	179.5	180.3	179.83
BD0 - 3	179.5	180.3	180.0	180.0	179.95
BD0 - 4	180.5	181.0	181.0	181.0	180.88
BD0 - 5	180.0	179.5	180.0	180.5	180.00
BD0 - 6	178.0	179.0	179.7	179.0	178.93
BD0 - 7	179.0	180.0	180.5	180.5	180.00
BD0 - 8	180.5	180.0	179.5	179.0	179.75
BD0 - 9	180.0	180.0	181.0	180.0	180.25
BD0 - 10	181.0	181.5	181.3	180.5	181.08
				Promedio	180.14

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : G - 2

Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA

Método de ensayo : NTP 399.613:2017

Ensayo : VARIACIÓN DIMENSIONAL DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

Diseño : BD1

Espécimen	Largo (mm)																
	Cara Superior							Cara Inferior							Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio			
BD1 - 1	287.5	286.0	286.4	286.5	286.0	286.0	286.40	286.0	285.4	286.0	286.0	286.0	285.9	285.88	286.00	285.80	286.02
BD1 - 2	287.0	286.5	287.0	286.7	287.0	287.0	286.87	287.0	286.0	286.5	287.0	287.0	287.0	286.75	286.10	286.30	286.50
BD1 - 3	288.0	287.0	287.0	287.0	286.0	286.2	286.87	287.0	286.5	286.5	287.0	286.5	286.0	286.58	286.20	286.50	286.54
BD1 - 4	288.0	287.5	287.0	287.0	286.5	286.0	287.00	286.6	287.0	286.5	286.5	287.0	287.0	286.77	287.00	286.50	286.82
BD1 - 5	288.0	287.4	287.0	286.0	286.0	286.5	286.82	286.5	286.0	286.0	286.3	286.0	286.5	286.22	285.80	286.20	286.26
BD1 - 6	287.0	286.5	286.0	286.0	286.0	286.3	286.30	286.0	285.8	286.0	285.5	285.7	286.0	285.83	285.90	286.00	286.01
BD1 - 7	285.7	286.0	285.5	285.6	285.5	285.5	285.63	286.0	285.5	285.5	286.0	286.0	286.5	285.92	286.20	286.10	285.96
BD1 - 8	287.0	286.0	286.0	286.0	286.0	285.7	286.12	286.0	286.0	286.0	286.0	286.5	286.5	286.17	286.20	286.50	286.25
BD1 - 9	287.0	286.0	286.0	285.5	285.5	285.8	285.97	285.7	285.5	286.0	286.0	285.5	285.0	285.62	285.70	286.00	285.82
BD1 - 10	287.0	286.0	286.0	285.5	286.3	286.0	286.13	285.5	286.0	286.0	286.0	286.4	284.0	285.65	285.80	285.90	285.87
															Promedio		286.20

Espécimen	Ancho (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD1 - 1	140.0	140.0	140.0	140.0	140.00
BD1 - 2	139.0	140.0	140.3	139.7	139.75
BD1 - 3	139.0	140.3	139.2	140.0	139.63
BD1 - 4	140.0	139.8	140.0	140.0	139.95
BD1 - 5	140.0	141.5	141.0	140.5	140.75
BD1 - 6	141.0	140.4	139.6	139.5	140.13
BD1 - 7	141.0	140.5	139.5	140.0	140.25
BD1 - 8	141.0	140.0	139.5	140.3	140.20
BD1 - 9	141.0	140.7	141.0	141.0	140.93
BD1 - 10	140.0	140.0	139.7	140.0	139.93
			Promedio		140.15

Espécimen	Alto (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD1 - 1	180.0	181.0	181.1	181.2	180.83
BD1 - 2	180.0	180.0	179.9	180.0	179.98
BD1 - 3	181.0	180.3	179.7	179.8	180.20
BD1 - 4	182.0	180.0	180.0	180.0	180.50
BD1 - 5	181.0	181.1	181.2	181.4	181.18
BD1 - 6	181.0	181.2	181.0	180.5	180.93
BD1 - 7	181.0	181.5	180.5	179.7	180.68
BD1 - 8	179.5	179.8	180.0	180.4	179.93
BD1 - 9	179.7	180.0	180.7	180.4	180.20
BD1 - 10	180.0	179.7	181.0	180.5	180.30
			Promedio		180.47

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : G - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
 Ensayo : VARIACIÓN DIMENSIONAL DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
 Diseño : BD2

Espécimen	Largo (mm)																
	Cara Superior							Cara Inferior							Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio			
BD2 - 1	287.0	286.5	287.0	287.0	286.0	286.3	286.63	286.0	286.0	285.0	286.0	287.0	286.4	286.07	286.50	286.50	286.43
BD2 - 2	287.5	286.5	287.0	287.0	287.7	287.0	287.12	287.0	287.0	287.0	286.8	287.0	287.0	286.97	287.00	287.50	287.15
BD2 - 3	288.0	287.5	287.0	286.5	287.0	287.1	287.18	287.6	286.0	287.0	286.5	287.0	287.0	286.85	286.50	287.00	286.88
BD2 - 4	286.0	286.0	286.5	286.3	287.0	287.0	286.47	286.0	287.0	287.0	286.5	286.5	286.8	286.63	287.20	287.00	286.83
BD2 - 5	287.0	286.0	287.0	287.0	286.5	287.0	286.75	286.4	286.0	287.0	287.0	287.0	286.5	286.65	285.90	285.80	286.28
BD2 - 6	287.0	287.5	287.0	287.0	287.5	287.5	287.25	286.5	287.0	287.0	287.0	286.7	287.0	286.87	286.80	287.00	286.98
BD2 - 7	287.0	287.0	286.5	286.0	286.0	285.7	286.37	285.5	285.9	286.0	286.0	286.0	286.0	285.90	286.30	286.00	286.14
BD2 - 8	288.0	287.0	286.5	286.0	285.5	285.5	286.42	286.0	286.0	286.0	285.5	285.5	285.5	285.75	286.00	286.00	286.04
BD2 - 9	286.0	285.5	285.7	286.0	285.0	285.5	285.62	285.0	286.0	285.0	285.0	285.3	286.0	285.38	286.00	285.20	285.55
BD2 - 10	286.0	286.3	286.0	286.3	286.0	286.5	286.18	286.0	284.5	285.8	286.0	286.0	286.5	285.80	286.00	286.00	286.00
															Promedio		286.43

Espécimen	Ancho (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD2 - 1	140.0	141.0	140.5	140.5	140.50
BD2 - 2	140.0	141.0	140.7	141.0	140.68
BD2 - 3	141.0	142.0	142.0	140.0	141.25
BD2 - 4	141.0	141.0	141.5	141.0	141.13
BD2 - 5	139.5	141.0	140.5	140.5	140.38
BD2 - 6	140.0	138.5	139.0	139.5	139.25
BD2 - 7	140.0	140.2	139.5	140.5	140.05
BD2 - 8	140.0	139.0	138.5	139.5	139.25
BD2 - 9	140.0	140.2	139.5	140.0	139.93
BD2 - 10	141.0	141.0	139.6	140.0	140.40
			Promedio		140.28

Espécimen	Alto (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD2 - 1	181.0	181.5	181.5	181.0	181.25
BD2 - 2	181.0	182.0	182.4	182.4	181.95
BD2 - 3	180.0	181.3	181.0	181.0	180.83
BD2 - 4	180.0	179.5	180.3	180.3	180.03
BD2 - 5	180.5	180.0	181.0	181.0	180.63
BD2 - 6	180.0	180.5	179.6	180.5	180.15
BD2 - 7	179.0	181.7	182.0	181.0	180.93
BD2 - 8	179.0	180.0	179.5	180.0	179.63
BD2 - 9	180.0	182.3	182.0	182.0	181.58
BD2 - 10	178.5	179.0	180.0	179.0	179.13
			Promedio		180.61

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : G - 4 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
 Ensayo : VARIACIÓN DIMENSIONAL DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
 Diseño : BD3

Espécimen	Largo (mm)																
	Cara Superior							Cara Inferior							Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Promedio			
BD3 - 1	287.0	285.0	285.0	285.5	285.0	284.2	285.28	285.5	284.0	283.5	284.0	284.5	286.0	284.58	285.00	285.00	284.97
BD3 - 2	287.5	287.0	286.0	286.0	285.0	286.0	286.25	286.0	286.1	285.0	286.0	285.0	285.5	285.60	286.00	285.50	285.84
BD3 - 3	288.0	286.0	286.0	286.4	285.0	285.0	286.07	286.0	285.7	286.5	285.0	285.0	286.0	285.70	285.50	286.00	285.82
BD3 - 4	287.0	285.0	284.0	285.5	285.5	285.0	285.33	284.5	284.5	285.0	285.0	285.0	284.7	284.78	284.50	284.00	284.65
BD3 - 5	286.5	286.0	286.0	284.8	284.0	284.0	285.22	285.0	285.0	285.0	284.7	285.5	285.5	285.12	285.00	285.50	285.21
BD3 - 6	287.0	286.1	286.5	286.0	286.0	285.5	286.18	285.5	285.5	286.5	285.5	285.5	285.3	285.63	285.10	285.50	285.60
BD3 - 7	286.0	286.0	287.0	286.0	285.0	285.0	285.83	286.0	285.6	286.6	286.0	286.0	286.0	286.03	286.00	286.00	285.97
BD3 - 8	287.0	285.0	286.0	285.5	284.5	285.8	285.63	286.0	285.0	285.0	285.0	285.5	285.5	285.33	285.50	285.00	285.37
BD3 - 9	287.0	286.0	286.0	285.0	285.6	286.0	285.93	286.0	285.0	286.5	286.3	284.5	284.5	285.47	286.00	285.70	285.78
BD3 - 10	286.0	286.0	286.5	285.0	285.0	285.0	285.58	285.0	286.0	286.0	285.5	285.5	285.0	285.50	285.50	285.00	285.40
																Promedio	285.46

Espécimen	Ancho (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD3 - 1	140.0	140.5	140.0	140.0	140.13
BD3 - 2	140.5	141.0	140.5	140.0	140.50
BD3 - 3	140.0	139.0	139.5	139.3	139.45
BD3 - 4	141.0	141.0	141.0	140.5	140.88
BD3 - 5	141.0	140.0	139.5	140.5	140.25
BD3 - 6	139.0	139.5	139.7	139.0	139.30
BD3 - 7	138.0	139.0	137.5	138.5	138.25
BD3 - 8	141.0	152.0	141.5	141.5	144.00
BD3 - 9	140.0	139.5	139.5	140.0	139.75
BD3 - 10	140.0	140.5	140.5	140.0	140.25
				Promedio	140.28

Espécimen	Alto (mm)				
	Cara Superior	Cara Inferior	Lateral Derecho	Lateral Izquierdo	Promedio
BD3 - 1	180.0	179.0	179.5	180.0	179.63
BD3 - 2	180.0	179.5	181.0	180.0	180.13
BD3 - 3	180.0	177.0	179.0	179.5	178.88
BD3 - 4	180.1	180.0	180.5	179.0	179.90
BD3 - 5	180.1	178.5	180.0	178.5	179.28
BD3 - 6	179.0	180.0	179.7	180.0	179.68
BD3 - 7	180.0	180.4	181.0	180.0	180.35
BD3 - 8	179.5	180.0	179.0	178.5	179.25
BD3 - 9	179.0	177.5	179.0	178.0	178.38
BD3 - 10	181.0	181.0	182.0	181.5	181.38
				Promedio	179.68

## ANEXO H

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : H - 1 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
Ensayo : ALABEO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Diseño : BD0

Espécimen	Concavidad					Convexidad				
	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.
BD0 - 1	-	-	0.5	1	0.75	0.3	0	-	-	0.15
BD0 - 2	1	1	0	0.3	0.58	-	-	-	-	0.00
BD0 - 3	0.5	0.5	0	0.5	0.38	-	-	-	-	0.00
BD0 - 4	-	-	1	0.5	0.75	0.2	0.2	-	-	0.20
BD0 - 5	0	0.5	0	0	0.13	-	-	-	-	0.00
BD0 - 6	1.5	1	1	0.7	1.05	-	-	-	-	0.00
BD0 - 7	0	0	0.3	0	0.08	-	-	-	-	0.00
BD0 - 8	0.1	0	-	-	0.05	-	-	0.3	0.5	0.40
BD0 - 9	0.5	0	-	-	0.25	-	-	0.5	0.5	0.50
BD0 - 10	0.3	0.5	0	0.5	0.33	-	-	-	-	0.00
				Promedio	0.43				Promedio	0.13

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : H - 2 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
Ensayo : ALABEO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Diseño : BD1

Espécimen	Concavidad					Convexidad				
	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.
BD1 - 1	1	1	0.8	1	0.95	-	-	-	-	0.00
BD1 - 2	-	-	-	-	0.00	0.1	0.5	0.5	0.5	0.40
BD1 - 3	0	0.5	0.5	1	0.50	-	-	-	-	0.00
BD1 - 4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.48	-	-	-	-	0.00
BD1 - 5	0.5	0.7	0.1	0	0.33	-	-	-	-	0.00
BD1 - 6	-	-	0	0.5	0.25	0.1	0.5	-	-	0.30
BD1 - 7	0.1	0.5	0	0.5	0.28	-	-	-	-	0.00
BD1 - 8	0.5	0	-	-	0.25	-	-	0.5	1	0.75
BD1 - 9	0.8	1	1	1.1	0.98	-	-	-	-	0.00
BD1 - 10	1	0	0.7	1	0.68	-	-	-	-	0.00
				Promedio	0.47				Promedio	0.15

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : H - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
Ensayo : ALABEO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Diseño : BD2

Espécimen	Concavidad					Convexidad				
	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.
BD2 - 1	1	0.5	-	-	0.75	-	-	0.2	1	0.60
BD2 - 2	1	1	1.5	1.5	1.25	-	-	-	-	0.00
BD2 - 3	-	-	-	-	0.00	1	0	0.6	0	0.40
BD2 - 4	0	0.5	0	0.7	0.30	-	-	-	-	0.00
BD2 - 5	0	0.1	-	-	0.05	-	-	1	0	0.50
BD2 - 6	0	0	0.2	0.5	0.18	-	-	-	-	0.00
BD2 - 7	-	-	-	-	0.00	1	1	0	0.5	0.63
BD2 - 8	1.1	0	1	1.5	0.90	-	-	-	-	0.00
BD2 - 9	1	0	0.8	1	0.70	-	-	-	-	0.00
BD2 - 10	0	1	0.5	1	0.63	-	-	-	-	0.00
				Promedio	0.48				Promedio	0.21

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : H - 4 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
Ensayo : ALABEO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
Diseño : BD3

Espécimen	Concavidad					Convexidad				
	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.	Cara Superior (mm)		Cara Inferior (mm)		Prom.
BD3 - 1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50	-	-	-	-	0.00
BD3 - 2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.40	-	-	-	-	0.00
BD3 - 3	0.8	0	1	1	0.70	-	-	-	-	0.00
BD3 - 4	0	1	1.5	1.5	1.00	-	-	-	-	0.00
BD3 - 5	0	1.5	1	0	0.63	-	-	-	-	0.00
BD3 - 6	1	0	1	1	0.75	-	-	-	-	0.00
BD3 - 7	1.8	1.8	0	1.5	1.28	-	-	-	-	0.00
BD3 - 8	-	-	0	0.5	0.25	0.5	1	-	-	0.75
BD3 - 9	0	0	0	0	0.00	-	-	-	-	0.00
BD3 - 10	1.5	0	0	0	0.38	-	-	-	-	0.00
				Promedio	0.59				Promedio	0.08

## ANEXO I

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	I - 1	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	PORCENTAJE DE VACÍOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD0		

Espécimen	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Alto Prom. (cm)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Peso de arena en los alvéolos (gr)	Volumen de los alvéolos (cm <sup>3</sup> )	% de Vacíos
BD0 - 1	28.61	14.03	18.08	7257.28	4016.30	2616.48	36.05
BD0 - 2	28.60	14.08	17.98	7240.33	4008.50	2611.40	36.07
BD0 - 3	28.67	14.00	18.00	7224.84	3998.50	2604.89	36.05
BD0 - 4	28.56	14.04	18.09	7253.77	4012.70	2614.14	36.04
BD0 - 5	28.62	14.09	18.00	7258.60	4018.50	2617.92	36.07
BD0 - 6	28.57	13.97	17.89	7140.31	3977.00	2590.88	36.29
BD0 - 7	28.60	14.01	18.00	7212.35	3994.10	2602.02	36.08
BD0 - 8	28.64	14.04	17.98	7229.86	4003.00	2607.82	36.07
BD0 - 9	28.54	13.97	18.03	7188.63	3985.50	2596.42	36.12
BD0 - 10	28.61	13.95	18.11	7227.87	4002.50	2607.49	36.08
						Promedio	36.09

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	I - 2	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	PORCENTAJE DE VACÍOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD1		

Espécimen	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Alto Prom. (cm)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Peso de arena en los alvéolos (gr)	Volumen de los alvéolos (cm <sup>3</sup> )	% de Vacíos
BD1 - 1	28.60	14.00	18.08	7239.23	4037.00	2629.97	36.33
BD1 - 2	28.65	13.98	18.00	7209.49	4031.50	2626.38	36.43
BD1 - 3	28.65	13.96	18.02	7207.17	4030.20	2625.54	36.43
BD1 - 4	28.68	14.00	18.05	7247.44	4033.00	2627.36	36.25
BD1 - 5	28.63	14.08	18.12	7304.36	4035.10	2628.73	35.99
BD1 - 6	28.60	14.01	18.09	7248.41	4037.00	2629.97	36.28
BD1 - 7	28.60	14.03	18.07	7250.73	4032.10	2626.78	36.23
BD1 - 8	28.62	14.02	17.99	7218.53	4034.20	2628.14	36.41
BD1 - 9	28.58	14.09	18.02	7256.51	4034.00	2628.01	36.22
BD1 - 10	28.59	13.99	18.03	7211.53	4031.80	2626.58	36.42
						Promedio	36.30

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : I - 3 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
 Ensayo : PORCENTAJE DE VACÍOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
 Diseño : BD2

Espécimen	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Alto Prom. (cm)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Peso de arena en los alvéolos (gr)	Volumen de los alvéolos (cm <sup>3</sup> )	% de Vacíos
BD2 - 1	28.64	14.05	18.13	7295.37	4086.00	2661.89	36.49
BD2 - 2	28.71	14.07	18.20	7351.88	4091.50	2665.47	36.26
BD2 - 3	28.69	14.13	18.08	7329.45	4090.00	2664.50	36.35
BD2 - 4	28.68	14.11	18.00	7284.15	4094.00	2667.10	36.62
BD2 - 5	28.63	14.04	18.06	7259.49	4088.50	2663.52	36.69
BD2 - 6	28.70	13.93	18.02	7204.23	4089.00	2663.84	36.98
BD2 - 7	28.61	14.01	18.09	7250.94	4095.00	2667.75	36.79
BD2 - 8	28.60	13.93	17.96	7155.23	4096.00	2668.40	37.29
BD2 - 9	28.56	13.99	18.16	7255.91	4092.50	2666.12	36.74
BD2 - 10	28.60	14.04	17.91	7191.65	4092.00	2665.80	37.07
						Promedio	36.73

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : I - 4 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Método de ensayo : NTP 399.613:2017  
 Ensayo : PORCENTAJE DE VACÍOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA  
 Diseño : BD3

Espécimen	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Alto Prom. (cm)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Peso de arena en los alvéolos (gr)	Volumen de los alvéolos (cm <sup>3</sup> )	% de Vacíos
BD3 - 1	28.50	14.01	17.96	7171.16	4091.50	2665.47	37.17
BD3 - 2	28.58	14.05	18.01	7231.90	4095.50	2668.08	36.89
BD3 - 3	28.58	13.95	17.89	7132.58	4091.00	2665.15	37.37
BD3 - 4	28.47	14.09	17.99	7216.55	4092.50	2666.12	36.94
BD3 - 5	28.52	14.03	17.93	7174.43	4091.30	2665.34	37.15
BD3 - 6	28.56	13.93	17.97	7149.20	4094.50	2667.43	37.31
BD3 - 7	28.60	13.83	18.04	7135.51	4092.50	2666.12	37.36
BD3 - 8	28.54	14.40	17.93	7368.80	4091.80	2665.67	36.18
BD3 - 9	28.58	13.98	17.84	7127.94	4093.00	2666.45	37.41
BD3 - 10	28.54	14.03	18.14	7263.55	4094.00	2667.10	36.72
						Promedio	37.05

## ANEXO J

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: J - 1	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: SUCCIÓN EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BDO		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Húmedo Ph (gr)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	% de Vacíos	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Succión (gr/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD0 - 1	8968.5	9003.5	28.61	14.03	401.40	36.05	256.69	27.27
BD0 - 2	8985.0	9022.0	28.60	14.08	402.69	36.07	257.44	28.74
BD0 - 3	8943.0	8980.5	28.67	14.00	401.38	36.05	256.68	29.22
BD0 - 4	8957.5	8995.0	28.56	14.04	400.98	36.04	256.47	29.24
BD0 - 5	8971.5	9009.5	28.62	14.09	403.26	36.07	257.80	29.48
Promedio								28.79

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: J - 2	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: SUCCIÓN EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD1		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Húmedo Ph (gr)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	% de Vacíos	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Succión (gr/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD1 - 1	8727.5	8770.0	28.60	14.00	400.40	36.33	254.93	33.34
BD1 - 2	8743.0	8784.5	28.65	13.98	400.53	36.43	254.62	32.60
BD1 - 3	8730.0	8772.0	28.65	13.96	399.95	36.43	254.25	33.04
BD1 - 4	8750.0	8791.0	28.68	14.00	401.52	36.25	255.97	32.04
BD1 - 5	8722.5	8763.0	28.63	14.08	403.11	35.99	258.03	31.39
Promedio								32.48

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: J - 3	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: SUCCIÓN EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD2		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Húmedo Ph (gr)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% de Vacíos	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Succión (gr/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD2 - 1	8363.5	8415.0	28.64	14.05	402.39	36.49	255.56	40.30
BD2 - 2	8394.5	8442.5	28.71	14.07	403.95	36.26	257.48	37.28
BD2 - 3	8398.0	8452.0	28.69	14.13	405.39	36.35	258.03	41.86
BD2 - 4	8383.0	8429.5	28.68	14.11	404.67	36.62	256.48	36.26
BD2 - 5	8386.5	8440.0	28.63	14.04	401.97	36.69	254.48	42.05
Promedio								39.55

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: J - 4	Elaborado por :	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: SUCCIÓN EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD3		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Húmedo Ph (gr)	Largo Prom. (cm)	Ancho Prom. (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% de Vacíos	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Succión (gr/(200 cm <sup>2</sup> -min))
BD3 - 1	8165.0	8230.0	28.50	14.01	399.29	37.17	250.87	51.82
BD3 - 2	8138.5	8202.5	28.58	14.05	401.55	36.89	253.42	50.51
BD3 - 3	8120.0	8188.0	28.58	13.95	398.69	37.37	249.70	54.47
BD3 - 4	8139.0	8206.0	28.47	14.09	401.14	36.94	252.96	52.97
BD3 - 5	8146.5	8214.0	28.52	14.03	400.14	37.15	251.49	53.68
Promedio								52.69

## ANEXO K

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: K - 1	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: ABSORCIÓN Y ABSORCIÓN MÁXIMA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD0		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Absorción %
BD0 - 1	8950.0	10041.0	12.19
BD0 - 2	8995.5	10098.5	12.26
BD0 - 3	8981.0	10083.5	12.28
BD0 - 4	8968.5	10050.0	12.06
BD0 - 5	8977.0	10065.5	12.13
		Promedio (%)	12.18

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Ebullición Psat ebullición (gr)	Absorción Máxima %
BD0-1	8950.0	10325.5	15.37
BD0-2	8995.5	10376.0	15.35
BD0-3	8981.0	10362.5	15.38
BD0-4	8968.5	10334.5	15.23
BD0-5	8977.0	10350.5	15.30
		Promedio (%)	15.33

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: K - 2	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: ABSORCIÓN Y ABSORCIÓN MÁXIMA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD1		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Absorción %
BD1 - 1	8721.0	9851.0	12.96
BD1 - 2	8715.5	9842.0	12.93
BD1 - 3	8730.5	9865.5	13.00
BD1 - 4	8713.5	9838.0	12.91
BD1 - 5	8737.0	9876.0	13.04
		Promedio (%)	12.96

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Ebullición Psat ebullición (gr)	Absorción Máxima %
BD1 - 1	8721.0	10111.5	15.94
BD1 - 2	8715.5	10100.5	15.89
BD1 - 3	8730.5	10128.0	16.01
BD1 - 4	8713.5	10092.5	15.83
BD1 - 5	8737.0	10130.5	15.95
		Promedio (%)	15.92

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: K - 3	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: ABSORCIÓN Y ABSORCIÓN MÁXIMA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD2		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Absorción %
BD2 - 1	8376.5	9569.0	14.24
BD2 - 2	8322.0	9562.0	14.90
BD2 - 3	8404.5	9644.0	14.75
BD2 - 4	8361.0	9564.0	14.39
BD2 - 5	8387.0	9574.5	14.16
		Promedio (%)	14.49

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Ebullición Psat ebullición (gr)	Absorción Máxima %
BD2 - 1	8376.5	9827.5	17.32
BD2 - 2	8322.0	9799.5	17.75
BD2 - 3	8404.5	9881.0	17.57
BD2 - 4	8361.0	9823.5	17.49
BD2 - 5	8387.0	9834.5	17.26
		Promedio (%)	17.48

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: K - 4	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	: NTP 399.613:2017		
Ensayo	: ABSORCIÓN Y ABSORCIÓN MÁXIMA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	: BD3		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Absorción %
BD3 - 1	8103.5	9440.0	16.49
BD3 - 2	8145.0	9489.5	16.51
BD3 - 3	8170.0	9517.0	16.49
BD3 - 4	8115.5	9458.5	16.55
BD3 - 5	8119.0	9465.5	16.58
		Promedio (%)	16.52

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Ebullición Psat ebullición (gr)	Absorción Máxima %
BD3 - 1	8103.5	9450.0	16.62
BD3 - 2	8145.0	9497.0	16.60
BD3 - 3	8170.0	9525.0	16.59
BD3 - 4	8115.5	9463.5	16.61
BD3 - 5	8119.0	9470.0	16.64
		Promedio (%)	16.61

## ANEXO L

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	L - 1	Elaborado por:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	DENSIDAD DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD0		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Peso Sumergido Psum (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
BD0 - 1	8996.5	10103.5	5489.0	1.950
BD0 - 2	9015.0	10120.0	5487.0	1.946
BD0 - 3	8966.5	10094.5	5463.0	1.936
BD0 - 4	8973.5	10112.5	5479.0	1.937
BD0 - 5	8945.0	10060.5	5450.5	1.940
			Promedio	1.942

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	L - 2	Elaborado por:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	DENSIDAD DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD1		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Peso Sumergido Psum (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
BD1 - 1	8730.0	9856.0	5285.0	1.910
BD1 - 2	8710.5	9832.0	5266.0	1.908
BD1 - 3	8742.0	9869.5	5294.0	1.911
BD1 - 4	8739.5	9861.0	5283.5	1.909
BD1 - 5	8760.0	9890.0	5317.0	1.916
			Promedio	1.911

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	L - 3	Elaborado por:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	DENSIDAD DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD2		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Peso Sumergido Psum (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
BD2 - 1	8369.5	9501.0	4990.0	1.855
BD2 - 2	8380.0	9516.5	5007.0	1.858
BD2 - 3	8396.0	9535.0	5025.0	1.862
BD2 - 4	8401.0	9577.5	5028.0	1.847
BD2 - 5	8360.5	9498.0	4973.0	1.848
			Promedio	1.854

### TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	L - 4	Elaborado por:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Método de ensayo	:	NTP 399.613:2017		
Ensayo	:	DENSIDAD DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
Diseño	:	BD3		

Espécimen	Peso Seco Ps (gr)	Peso Saturado Psat (gr)	Peso Sumergido Psum (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
BD3 - 1	8160.5	9347.0	4775.0	1.785
BD3 - 2	8142.0	9334.0	4753.0	1.777
BD3 - 3	8171.5	9360.5	4788.5	1.787
BD3 - 4	8134.0	9322.0	4741.0	1.776
BD3 - 5	8118.5	9310.0	4726.5	1.771
			Promedio	1.779

## ANEXO M

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : M Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
Método de ensayo : MTC E 107 (2016)  
Ensayo : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

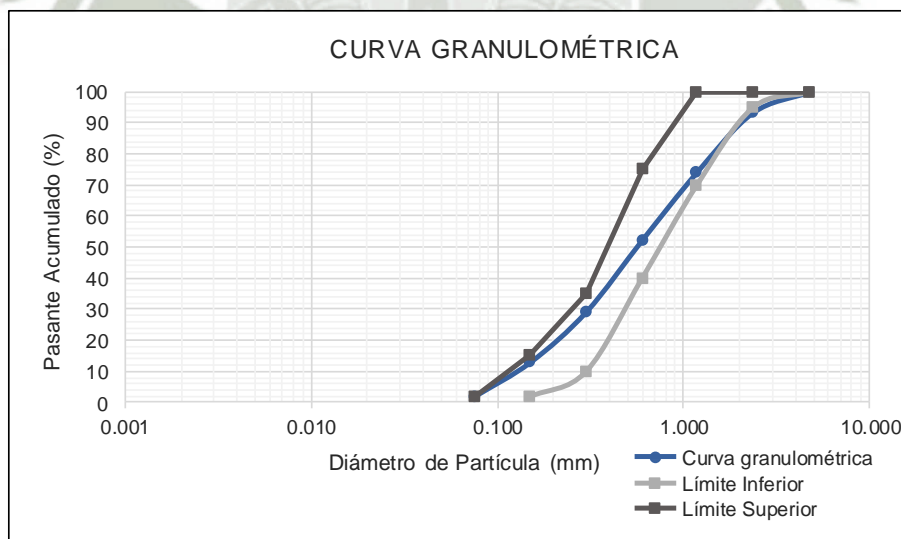
### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Muestra : Arena de mortero  
Procedencia : Cantera Sur de Lima

### DATOS DE ENSAYO

Bandeja ID : A  
Peso Bandeja (g) : 0.00  
Peso Inicial Suelo (g) : 500.00

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.360	33.60	6.72	6.72	93.28
16	1.180	95.90	19.18	25.90	74.10
30	0.600	108.70	21.74	47.64	52.36
50	0.300	115.30	23.06	70.70	29.30
100	0.150	81.20	16.24	86.94	13.06
200	0.075	55.30	11.06	98.00	2.00
Fondo	-	10.0	2.00	100.00	11.06
		500.00			



## ANEXO N

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	N	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	:	NTP 334.051:2013			
Ensayo	:	RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN CUBOS DE MORTERO			

CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO

Fecha elaboración	:	23/11/2017	Fecha ensayo (14 días)	:	07/12/2017
			Fecha ensayo (21 días)	:	14/12/2017

Especimen	Dosificación	Edad (días)	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
			Largo	Ancho	Alto				
M-1	1:4	14	5.10	5.10	5.10	26.01	51.72	5273.89	202.76
M-2	1:4	14	5.10	5.10	5.10	26.01	57.26	5838.80	224.48
M-3	1:4	14	5.10	5.10	5.10	26.01	55.10	5618.55	216.01
Promedio								fc (prom)	214.42
Desviación Estándar								$\sigma$	10.95
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )								f'c	203.47

Especimen	Dosificación	Edad (días)	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
			Largo	Ancho	Alto				
M-4	1:4	21	5.10	5.10	5.00	26.01	68.16	6950.28	267.22
M-5	1:4	21	5.10	5.10	5.00	26.01	65.14	6642.33	255.38
M-6	1:4	21	5.10	5.10	5.10	26.01	66.54	6785.08	260.86
Promedio								fc (prom.)	261.15
Desviación Estándar								$\sigma$	5.93
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )								f'c	255.23

## ANEXO O

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: O - 1	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	: NTP 399.605:2013		
Ensayo	: RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN EN PILAS DE ALBAÑILERÍA (f <sub>m</sub> )		

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO			
Tipo	: Bloque Termoarcilla	Dosificación	: C:A - 1:4	Fecha elaboración	: 27/11/2017
Dimensión	: 18x14x28.6 cm	Espesor de junta	: 1 cm.	Fecha ensayo	: 11/12/2017

Espécimen	Dimensiones promedio (cm)			Área neta (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez (H/t)	Factor de corrección	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión f <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto					
P-1	28.70	14.00	57.10	253.70	4.08	1.16	40100	183.40
P-2	28.50	13.90	56.90	248.10	4.09	1.16	38000	177.71
P-3	28.50	14.00	56.80	250.90	4.06	1.15	38800	177.79

Espécimen	Resistencia a la compresión f <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	183.40	14	1.10	201.74
P-2	177.71	14	1.10	195.48
P-3	177.79	14	1.10	195.57

Promedio	f <sub>m</sub> (prom.)	197.60
Desviación Estándar	σ	3.59

f <sub>m</sub> característica (kg/cm <sup>2</sup> )	194.01
-----------------------------------------------------	--------

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: O - 2	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	: NTP 399.605:2003		
Ensayo	: RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN EN PILAS DE ALBAÑILERÍA (f <sub>m</sub> )		

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO			
Tipo	: Bloque Termoarcilla	Dosificación	: C:A - 1:4	Fecha elaboración	: 27/11/2017
Dimensión	: 18x14x28.6 cm	Espesor de junta	: 1 cm.	Fecha ensayo	: 11/12/2017

Espécimen	Dimensiones promedio (cm)			Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Esbeltez (H/t)	Factor de corrección	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión f <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto					
P-1	28.70	14.00	57.10	401.80	4.08	1.16	40100	115.77
P-2	28.50	13.90	56.90	396.15	4.09	1.16	38000	111.24
P-3	28.50	14.00	56.80	399.00	4.06	1.15	38800	111.78

Espécimen	Resistencia a la compresión f <sub>m</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Factor de corrección	Resistencia a la compresión corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
P-1	115.77	14	1.10	127.34
P-2	111.24	14	1.10	122.37
P-3	111.78	14	1.10	122.96

Promedio	f <sub>m</sub> (prom.)	124.22
Desviación Estándar	σ	2.72

f <sub>m</sub> característica (kg/cm <sup>2</sup> )	121.50
-----------------------------------------------------	--------

## ANEXO P

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	P	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	:	ASTM C469			
Ensayo	:	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA ALBAÑILERÍA			

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO			
Tipo	Bloque Termoarcilla	Dosificación	: C:A - 1:4	Fecha elaboración	: 27/11/2017
Dimensión	18x14x28.6 cm	Espesor de junta	: 1 cm.	Fecha ensayo	: 11/12/2017

Especímen	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	P <sub>máx</sub> (kg)	Esfuerzo $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )		Deformación unitaria $\epsilon$		$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\epsilon$	Em (kg/cm <sup>2</sup> )
				15% fm	50% fm	15%	50%			
P - 1	401.8	360	40100	14.970	49.900	0.000233	0.000588	34.930	0.000355	98449.17
P - 2	396.15	360	38000	14.388	47.962	0.000296	0.000606	33.573	0.000309	108592.37
P - 3	399.15	360	38800	14.581	48.603	0.000334	0.000663	34.022	0.000328	103629.98

## ANEXO Q

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: Q - 1	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	: NTP 399.621:2015		
Ensayo	: RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETES DE ALBAÑILERÍA (v/m)		

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO	
Tipo	: Bloque Termoarcilla sin machihembrado	Dosificación	: C:A - 1:4
Dimensión	: 18x14x28.6 cm	Fecha elaboración	: 23/11/2017
		Fecha ensayo	: 14/12/2017
		Espesor de junta	: 1 cm.
		Junta Horizontal	: Si
		Junta Vertical	: Si

Especímen	Dimensiones promedio (cm)			Diagonal principal (cm)	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a corte vm (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Alto	Ancho				
M - 1	75.50	74.90	14.00	106.35	1488.90	24900	16.72
M - 2	75.00	75.00	14.00	106.07	1484.92	25000	16.84
M - 3	74.80	75.00	14.00	105.92	1482.95	25400	17.13

Especímen	Resistencia a corte vm (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Factor de corrección	Resistencia a corte corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
M - 1	16.72	21	1.05	17.56	Mixta
M - 2	16.84	21	1.05	17.68	Diagonal
M - 3	17.13	21	1.05	17.99	Diagonal

Promedio	vm (prom.)	17.74
Desviación Estándar	$\sigma$	0.22

v'm característica (kg/cm <sup>2</sup> )	17.52
------------------------------------------	-------

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	:	Q - 2	Elaborado por	:	BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	:	NTP 399.621:2015			
Ensayo	:	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETES DE ALBAÑILERÍA (vm)			

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO			
Tipo	: Bloque Termoarcilla con machihembrado	Dosificación	: C:A - 1:4	Fecha elaboración	: 24/11/2017
Dimensión	: 18x14x28.6 cm	Espesor de junta	: 1 cm.	Fecha ensayo	: 15/12/2017
		Junta Horizontal	: Si		
		Junta Vertical	: No		

Espécimen	Dimensiones promedio (cm)			Diagonal principal (cm)	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia a corte vm (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Alto	Ancho				
M - 1*	75.50	75.00	14.00	106.42	1489.88	11900	7.99
M - 2*	75.50	75.50	13.90	106.77	1484.15	11850	7.98
M - 3*	74.50	75.00	14.00	105.71	1479.98	11700	7.91

Espécimen	Resistencia a corte vm (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Factor de corrección	Resistencia a corte corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
M - 1*	7.99	21	1.05	8.39	Escalonada
M - 2*	7.98	21	1.05	8.38	Escalonada
M - 3*	7.91	21	1.05	8.31	Escalonada

Promedio	vm (prom.)	8.36
Desviación Estándar	$\sigma$	0.05

v/m característica (kg/cm <sup>2</sup> )	8.31
------------------------------------------	------

## ANEXO R

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo	: R - 1	Elaborado por	: BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA
Norma Técnica	: NTP 399.621:2015		
Ensayo	: MÓDULO DE CORTE DE LA ALBAÑILERÍA		

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO	
Tipo	: Bloque Termoarcilla sin machihembrado	Dosificación	: C:A - 1:4
Dimensión	: 18x14x28.6 cm	Fecha elaboración	: 23/11/2017
		Fecha ensayo	: 14/12/2017
		Espesor de junta	: 1 cm.
		Junta Horizontal	: Si
		Junta Vertical	: Si

Especimen	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		$\Delta\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria $\epsilon$				$\Delta\epsilon_h$	$\Delta\epsilon_v$	Deformación Angular $\gamma$	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )
							Horizontal		Vertical					
							10% $v_m$	50% $v_m$	10%	50%			10%	
M - 1	1488.90	703.50	24900	1.672	8.362	6.690	6.112E-06	8.131E-05	6.681E-06	8.614E-05	7.520E-05	7.946E-05	0.0001547	43254.09
M - 2	1484.92	700.66	25000	1.684	8.418	6.734	5.709E-06	8.720E-05	5.709E-06	9.263E-05	8.149E-05	8.692E-05	0.0001684	39987.33
M - 3	1482.95	699.25	25400	1.713	8.564	6.851	6.764E-06	8.920E-05	6.779E-06	9.097E-05	8.243E-05	8.419E-05	0.0001666	41118.24

TESIS: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TERMOARCILLA

Anexo : R - 2 Elaborado por : BACH. MAYRA ERIKA SANTOS ROCHA  
 Norma Técnica : NTP 399.621:2015  
 Ensayo : MÓDULO DE CORTE DE LA ALBAÑILERÍA

CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO	
Tipo :	Bloque Termoarcilla con machihembrado	Dosificación :	C:A - 1:4
Dimensión :	18x14x28.6 cm	Fecha elaboración :	24/11/2017
		Fecha ensayo :	15/12/2017
		Espesor de junta :	1 cm.
		Junta Horizontal :	Si
		Junta Vertical :	No

Especimen	Área diagonal (cm <sup>2</sup> )	Distancia L (mm)	Pmax (kg)	Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )		$\Delta\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria $\epsilon$				$\Delta\epsilon_h$	$\Delta\epsilon_v$	Deformación Angular $\gamma$	Gm (kg/cm <sup>2</sup> )
				10% $\nu_m$	50% $\nu_m$		Horizontal		Vertical					
							10%	50%	10%	50%			$\Delta\epsilon_h + \Delta\epsilon_v$	
M - 1*	1489.88	704.20	11900	0.799	3.994	3.195	3.096E-06	4.530E-05	3.451E-06	4.814E-05	4.220E-05	4.469E-05	0.0000869	36768.19
M - 2*	1484.15	707.73	11850	0.798	3.992	3.194	3.363E-06	4.668E-05	3.758E-06	4.550E-05	4.332E-05	4.174E-05	0.0000851	37546.76
M - 3*	1479.98	697.13	11700	0.791	3.953	3.162	2.754E-06	4.807E-05	3.012E-06	4.428E-05	4.531E-05	4.127E-05	0.0000866	36522.03