

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS
DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO
FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES
TEMPERATURAS DE COCCIÓN.**

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

**PRESENTADO POR:
IRBIN IBRAHIM BARRIENTOS ANDÍA**

**ASESOR:
MSC. ING. CRISTIAN CASTRO PÉREZ**

Ayacucho - Perú

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 035-2022-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 148-2022-FIMGC-D**, siendo los dieciséis días del mes de junio del 2022, a horas 11:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, jurado el **MSc. Ing. Edward LEON PALACIOS**, jurado **Ing. Moisés Nico BARBARÁN ORIUNDO**, jurado asesor el **MSc. Ing. Cristian CASTRO PÉREZ** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN”**, sustentado por el señor **Irbin Ibrahim BARRIENTOS ANDÍA**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Civil**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **17 (Diecisiete)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
GEOLOGÍA Y CIVIL
Dr. Efraín Elías Porras Flores
DECANO

Firmado digitalmente
por Dr. Ing. Efraín Elías
Porras Flores
Fecha: 2022.06.28
08:26:33 -09'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente

MSc. Ing. Edward LEON PALACIOS
Jurado

Ing. Moisés Nico BARBARÁN ORIUNDO
Jurado

MSc. Ing. Cristian CASTRO PÉREZ
Jurado - Asesor

Firmado
digitalmente por
**LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN**

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

A Amelia Farah.

*Pocos objetos hay más hermosos
que los pequeños caparzones silíceos
de las diatomeas.*

Resumen

El propósito de esta investigación fue evaluar la influencia de la temperatura de cocción y los efectos de la adición de diatomita sobre las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales que se fabrican en la región Ayacucho. Se prepararon y probaron cuatro dosificaciones de 0 %, 10 %, 20 % y 30 %. Para estudiar la influencia del proceso de cocción sobre las características del ladrillo artesanal, se caracterizó el perfil térmico de un horno tipo volcán y se fabricaron probetas cúbicas de 1.5" que fueron cocidas en un horno eléctrico a 750 °C, 850 °C y 950 °C. Se realizó un análisis de varianza para evaluar la influencia del contenido de diatomita y la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo. Los resultados de las pruebas mostraron que se pueden fabricar ladrillos más ligeros con la adición de diatomita; sin embargo, incrementó su porcentaje de succión. Su resistencia aumentó ligeramente con la adición de 10 % y 20 % de diatomita y disminuyó al usar una proporción de 30 %. Esta mejora en la resistencia se debió al aporte de alumina, sílice y cualidad desengrasante de la diatomita. Se comprobó que a 950 °C mejora la resistencia hasta en 20 % respecto de muestras cocidas a 850 °C.

Palabras clave: Ladrillo artesanal, diatomita, temperatura de cocción, propiedades físicas y mecánicas

Abstract

The purpose of this research was to evaluate the influence of the firing temperature and the effects of the addition of diatomite on the physical and mechanical properties of artisan bricks that are manufactured in the Ayacucho region, for which four dosages of 0, 10 %, 20 %, and 30 % were prepared and tested. To study the influence of the firing process on the characteristics of the artisan brick, the thermal profile of a volcano-type furnace was characterized and cubic specimens of 1.5" were manufactured that were fired in an electric furnace at 750 °C, 850 °C and 950 °C. An analysis of variance was carried out to evaluate the influence of the diatomite content and the firing temperature on the physical and mechanical properties of the brick. The test results showed that lighter bricks can be made with the addition of diatomite; however, it increased its suction percentage. Its resistance slightly increased with the addition of 10 % and 20 % diatomaceous earth and decreased when using a ratio of 30 %. This improvement in resistance was due to the contribution of alumina, silica and the degreasing quality of the diatomite. It was found that at 950 °C the strength improves by up to 20 % over the specimens fired at 850 °C.

keywords: Clay bricks, diatomite, firing temperature, physical and mechanical properties

Agradecimientos

Quiero extender mi sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones por su orientación y apoyo durante la realización de la tesis:

Al Sr. Máximo Pino Zamora por todas las facilidades en su ladrillera y el apoyo brindado durante todo el proceso de fabricación de los ladrillos.

A Akhise Ingeniería y Construcción por el apoyo para la realización de los ensayos de laboratorio.

A mi asesor, el Ing. Cristian Castro Pérez por ayudarme a salvar entuertos.

A Techint Engineering & Construction por la implementación para realizar los ensayos térmicos al horno tipo volcán.

A los señores Yan Paul Lope Gomez, Francisco Cajamarca Sosa, Federico Melgar Vilchez, Percy López mercado y Ever Canchari por compartir su experiencia y el apoyo durante la elaboración de los ladrillos artesanales.

A Elvio Conislla por el apoyo logístico incondicional.

Ayacucho, diciembre de 2021

Índice general

Resumen	III
Agradecimientos	IV
Índice general	V
Índice de figuras	X
Índice de tablas	XIII
Lista de símbolos	XVI
Acrónimos	XVI
Glosario	XVII
Introducción	1
I Planteamiento del problema	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2 Delimitación del problema	5
1.2.1 Espacial (geográfica)	6
1.2.2 Temporal	6
1.2.3 Temática y unidad de análisis	6
1.3 Formulación del problema	6
1.3.1 Problema general	6
1.3.2 Problemas específicos	6
1.4 Justificación e importancia	7
1.5 Limitaciones de la investigación	8
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo general	8
1.6.2 Objetivos específicos	8
II Marco teórico y conceptual	10
2.1 Antecedentes bibliográficos	10
2.1.1 Investigaciones internacionales	10

2.1.2	Investigaciones nacionales	11
2.2	Bases teóricas	12
2.2.1	El ladrillos	12
2.2.2	La arcilla	12
2.2.2.1	Principales minerales arcillosos	13
2.2.2.2	Canteras de arcillas en Ayacucho	13
2.2.2.3	Composición química de la arcillas de Ayacucho	14
2.2.2.4	Análisis mineralógico de arcillas comunes	15
2.2.2.5	Cantera de Llamuqtachi	15
2.2.2.6	Cantera de Trigopampa	16
2.2.3	Limo	16
2.2.4	Arena	16
2.2.5	Desengrasantes	16
2.2.6	Elementos fundentes	16
2.2.7	Diatomitas o tierras diatomeas	17
2.2.7.1	Características de la diatomita	17
2.2.7.2	Canteras de Diatomitas en Ayacucho	17
2.2.7.3	Caracterización física de las diatomitas de Ayacucho	17
2.2.7.4	Composición química de las diatomitas de Ayacucho	19
2.2.8	Tamaño de grano y distribución granulométrica	19
2.2.9	Horno tipo volcán	20
2.2.9.1	Temperatura de los hornos artesanales	21
2.2.10	Característica y clasificación del ladrillos	21
2.2.11	Proceso de fabricación de ladrillos	22
2.2.11.1	Selección y zaranda de la materia prima	22
2.2.11.2	Moldeado	22
2.2.11.3	Secado	23
2.2.11.4	Cocción	24
2.2.12	Efecto del calor sobre los ladrillos	25
2.2.13	Patologías del ladrillo	25
2.2.14	Conductividad térmica	25
2.2.15	Transferencia de calor	26
2.2.16	Inercia Térmica	26
2.2.17	Conductividad térmica de materiales de la región Ayacucho	26

III Marco metodológico 27

3.1	Enfoque	27
3.2	Diseño de investigación	27

3.3	Población y muestra	27
3.3.1	Población	27
3.3.2	Muestra	28
3.3.3	Muestreo	28
3.4	Hipótesis	28
3.4.1	Hipótesis general	28
3.4.2	Hipótesis específicas	29
3.5	Operacionalización de variables	29
3.6	Técnicas e instrumentos	29
3.7	Técnicas estadísticas	30
3.8	Desarrollo del trabajo de tesis	30
3.8.1	Ubicación de la investigación	30
3.8.2	Caracterización térmica del horno tipo volcán	30
3.8.3	Caracterización de la materia prima	33
3.8.4	Fabricación de ladrillos y probetas	33
3.8.4.1	Mezcla, amasado y moldeado de ladrillos	34
3.8.4.2	Mezcla, amasado y moldeado de probetas	34
3.8.5	Secado de ladrillos	36
3.8.5.1	Contenido de humedad e índice de secado de ladrillos crudos	36
3.8.6	Contracción de secado y de cocción	37
3.8.7	Cocción	37
3.8.7.1	Cocción del ladrillo	37
3.8.7.2	Cocción de probetas	40
3.8.8	Prueba de Resistencia a la compresión	41
3.8.8.1	Resistencia a compresión axial de ladrillos	41
3.8.8.2	Resistencia a compresión axial de probetas	42
3.8.9	Variación dimensional de ladrillos artesanales	42
3.8.10	Alabeo de ladrillos artesanales	42
3.8.10.1	Variación dimensional y alabeo en probetas	42
3.8.11	Resistencia a compresión axial de pilas	44
3.8.12	Medida de la absorción	44
3.8.12.1	Prueba de absorción de ladrillos	44
3.8.12.2	Medida de la absorción de probetas	46
3.8.13	Medida de la succión	46
3.8.13.1	Prueba de succión de ladrillo	46
3.8.13.2	Prueba de la succión de probetas	47
3.8.14	Ensayo termográfico a probetas con adición de diatomita	47

IV	Resultados y discusiones	49
4.1	Caracterización térmica del horno tipo volcán	49
4.2	Caracterización mecánica la materia prima	51
4.2.1	Granulometría	51
4.3	Índice de secado de ladrillos crudos	52
4.4	Peso de probetas crudas	54
4.5	Contracción por secado y de cocción	54
4.6	Peso de Ladrillos cocidos	55
4.7	Peso de probetas cocidas	56
4.8	Resistencia a la compresión	57
4.8.1	Resistencia a compresión axial de ladrillos	58
4.8.2	Resistencia a compresión axial de probetas	59
4.9	Variación dimensional de ladrillos artesanales	62
4.10	Alabeo de ladrillos artesanales	63
4.11	Variación dimensional y alabeo en probetas	63
4.12	Resistencia a compresión axial de pilas	64
4.13	Medida de la absorción	66
4.13.1	Prueba de absorción de ladrillos	67
4.13.2	Prueba de la absorción de probetas	68
4.14	Prueba de succión	69
4.14.0.1	Prueba de succión de ladrillo	69
4.14.0.2	Prueba de la succión de probetas	71
4.14.1	Ensayo termográfico a probetas	72
V	Conclusiones y recomendaciones	74
5.1	Conclusiones	74
5.1.1	Sobre el horno tipo volcán artesanal	74
5.1.2	Sobre la materia prima	74
5.1.3	Sobre las propiedades físicas del ladrillo artesanal	74
5.1.3.1	Humedad e índice de secado	74
5.1.3.2	Peso crudo de ladrillos artesanales	75
5.1.3.3	Peso Cocido de ladrillos artesanales	75
5.1.3.4	Contracción por secado y cocción	75
5.1.3.5	Variación dimensional y alabeo	76
5.1.3.6	Absorción	76
5.1.3.7	Succión	76
5.1.3.8	Sobre el ensayo termográfico	76
5.1.4	Sobre las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal	76

5.1.4.1 Resistencia a la compresión axial de ladrillos	76
5.1.4.2 Resistencia a la compresión axial de pilas	77
5.2 Recomendaciones	77
5.3 Trabajos futuros	78

Referencias Bibliográficas **84**

A Anexo **85**

A.1 Resistencia a la compresión de ladrillos	85
A.2 Resistencia a la compresión de probetas	86
A.3 Absorción de ladrillos	88
A.4 Absorción de probetas	89
A.5 Succión normalizada de Ladrillos	91
A.6 Succión normalizada de probetas	93
A.7 Resistencia a la compresión de pilas	94
A.8 Cartilla de encuesta	95
A.9 Matriz de consistencia	96

Índice de figuras

Figura 1.1:	Vivienda en la ciudad de Ayacucho con envolventes ineficientes térmicamente	4
Figura 1.2:	Mapa de pobreza monetaria por regiones 2018	5
Figura 1.3:	Oferta potencial de diatomita en el Perú por regiones.	5
Figura 1.4:	(a) Principales rocas minerales industriales en la Región Ayacucho. (b) Distribución del valor de la producción de las principales rocas y minerales industriales.	7
Figura 1.5:	Importancia de la investigación.	8
Figura 2.1:	Canteras de diatomita en la región de Ayacucho.	18
Figura 2.2:	Vista de la diatomita de las canteras de Ayacucho.	18
Figura 2.3:	Diagrama ternario de textura del suelo basadas en el USDA.	20
Figura 2.4:	Horno tipo volcán.	21
Figura 2.5:	Materia prima y moldeado de ladrillos artesanales en el distrito de Pacaycasa.	23
Figura 2.6:	Proceso de secado y quema de ladrillos artesanales.	23
Figura 2.7:	Programa utilizado en el estudio de producción de ladrillos.	24
Figura 3.1:	Representación del diseño factorial $4 * 3$ con dos factores.	28
Figura 3.2:	Medición de la temperatura del horno tipo volcán	31
Figura 3.3:	Control térmico de un horno tipo volcán con pirómetro.	32
Figura 3.4:	Conos pirométricos colocados dentro del malecón.	32
Figura 3.5:	Parte superior de horno tipo volcán.	33
Figura 3.6:	(a) Materia prima. (b) Amasado. (c) Moldeado. (d) Secado.	35
Figura 3.7:	Fabricación de probetas cúbicas de arcilla y diatomita.	36
Figura 3.8:	Secado de ladrillos al aire libre.	36
Figura 3.9:	Control de peso de ladrillos húmedos durante secado.	37
Figura 3.10:	Probetas para ensayo de contracción por secado y cocción.	38
Figura 3.11:	Traslado de ladrillos crudos al horno.	38
Figura 3.12:	Distribución de ladrillos crudos dentro del horno.	39

Figura 3.13:	Proceso de quema de un horno tipo volcán.	39
Figura 3.14:	Programa de cocción de las probetas en un horno eléctrico. . . .	40
Figura 3.15:	Cocción de probetas a 750 C.	41
Figura 3.16:	Cocción de probetas a 850 C.	41
Figura 3.17:	Cocción de probetas a 950 C.	42
Figura 3.18:	Ensayo de resistencia a compresión axial de unidades de albañilería.	43
Figura 3.19:	Ensayo de resistencia a compresión axial de probetas con adición de diatomita.	43
Figura 3.20:	Ensayo de variación dimensional y alabeo de ladrillos artesanales.	44
Figura 3.21:	Elaboración y rotura de pilas de albañilería.	45
Figura 3.22:	Ensayo de absorción de ladrillos con adición de diatomita.	45
Figura 3.23:	Ensayo de absorción de probetas con adición de diatomita.	46
Figura 3.24:	Prueba de succión a ladrillos con adición de diatomita.	46
Figura 3.25:	Prueba de succión a ladrillos con adición de diatomita.	47
Figura 3.26:	flujo térmico a través de las probetas.	48
Figura 4.1:	Perfil térmico del horno tipo volcán durante la quema.	49
Figura 4.2:	Color de la incandescencia del ladrillo según su temperatura.	51
Figura 4.3:	Granulometría de la tierra preparada para ladrillos artesanales y de la diatomita molida.	51
Figura 4.4:	Índice de secado de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	52
Figura 4.5:	Presencia de grietas durante secado del ladrillo.	53
Figura 4.6:	Humedad de ladrillos artesanales con adición de diatomita durante secado.	53
Figura 4.7:	Peso seco de ladrillos y probetas crudos con adición de diatomita.	54
Figura 4.8:	Contracción por secado y cocción de la masa cerámica.	55
Figura 4.9:	Peso de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	55
Figura 4.10:	Peso ladrillos artesanales según su ubicación en el horno.	56
Figura 4.11:	Peso de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.	57
Figura 4.12:	Compresión simple de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	58
Figura 4.13:	Resistencia de ladrillos según su ubicación.	59
Figura 4.14:	Resistencia a la compresión de probetas con adición de diatomita según la temperatura de cocción.	60
Figura 4.15:	Apariencia de las probetas con adición de diatomita y cocidas a distintas temperaturas.	61
Figura 4.16:	Problemas de variación dimensional y alabeo.	63

Figura 4.17: Compresión axial de pilas de ladrillos con adición de diatomita.	64
Figura 4.18: Rotura de pilas de ladrillos con 0 % de diatomita.	65
Figura 4.19: Rotura de pilas de ladrillos con 10 % de diatomita.	65
Figura 4.20: Rotura de pilas de ladrillos con 20 % de diatomita.	66
Figura 4.21: Rotura de pilas de ladrillos con 30 % de diatomita.	66
Figura 4.22: Porcentaje de absorción de ladrillos artesanales.	67
Figura 4.23: Porcentaje de absorción de ladrillos artesanales según su ubicación.	68
Figura 4.24: Absorción de agua de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.	69
Figura 4.25: Succión normalizada de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	70
Figura 4.26: Succión normalizada de ladrillos artesanales según su ubicación.	70
Figura 4.27: Succión normalizada de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.	71
Figura 4.28: Conductividad térmica de probetas.	72
Figura 4.29: Imagen termográfica de las probetas luego de 10 minutos de haber estado en contacto con el <i>hot plate</i>	73

Índice de tablas

Tabla 1.1:	Viviendas por material de construcción predominante en las paredes exteriores.	3
Tabla 1.2:	Canteras de diatomita por región.	6
Tabla 2.1:	Canteras de arcilla común en la región Ayacucho.	14
Tabla 2.2:	Análisis químico de arcilla comunes.	14
Tabla 2.3:	Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X (DRX) de las arcillas comunes de la región Ayacucho.	15
Tabla 2.4:	Ocurrencias y canteras de diatomita en Ayacucho.	17
Tabla 2.5:	Características física de las diatomitas de Ayacucho.	19
Tabla 2.6:	Análisis químico de diatomitas de la región Ayacucho.	19
Tabla 2.7:	Análisis químico de las diatomitas de los yacimientos de Tambillo, Quicapata y La Moya.	19
Tabla 2.8:	Granulometría ideal para lograr ladrillos de buena calidad.	20
Tabla 2.9:	Conductividad térmica de materiales utilizados en las edificaciones de la región Ayacucho.	26
Tabla 3.1:	Operacionalización de variables.	29
Tabla 3.2:	Cantidad de ladrillos fabricados y codificación de acuerdo a su ubicación y porcentaje de diatomita.	33
Tabla 3.3:	Cantidad de probetas fabricadas por cada arreglo factorial	34
Tabla 3.4:	Probetas codificadas por su contenido de diatomita y su T de cocción.	34
Tabla 3.5:	Dosificación de materia prima en porcentaje de volumen que se cargan a la mezcladora.	34
Tabla 3.6:	Programa de cocción para probetas	40
Tabla 4.1:	Temperaturas máxima del horno tipo volcán..	50
Tabla 4.2:	Granulometría de la tierra preparada y de la diatomita molida.	52
Tabla 4.3:	Porcentaje de humedad en ladrillos crudos con adición de diatomita.	53

Tabla 4.4:	Peso de probetas crudas con adición de diatomita	54
Tabla 4.5:	Contracción de la masa cerámica por secado y por cocción.	54
Tabla 4.6:	Peso de ladrillos con adición de diatomita	55
Tabla 4.7:	Peso ladrillos artesanales según su ubicación en el horno.	56
Tabla 4.8:	Análisis de varianza del peso de los ladrillos	56
Tabla 4.9:	Peso de probetas según su temperatura de cocción y adición de diatomita.	57
Tabla 4.10:	Análisis de varianza del peso de probetas con dos factores y su interacción.	57
Tabla 4.11:	Compresión simple de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	58
Tabla 4.12:	Compresión simple de ladrillos artesanales ubicados en tres niveles del horno durante la cocción.	59
Tabla 4.13:	Análisis de varianza de la resistencia a compresión de ladrillos. . .	59
Tabla 4.14:	Resistencia a la compresión de probetas con adición de diatomita según la temperatura de cocción.	61
Tabla 4.15:	ANOVA de la resistencia de probetas con dos factores y su interacción.	62
Tabla 4.16:	Variación dimensional del ladrillo con adición de diatomita.	62
Tabla 4.17:	Variación dimensional del ladrillo por su ubicación en el horno. . .	63
Tabla 4.18:	Alabeo del ladrillo con adición de diatomita.	64
Tabla 4.19:	Alabeo del ladrillo por su ubicación en el horno.	64
Tabla 4.20:	Resistencia característica de pilas de albañilería.	64
Tabla 4.21:	ANOVA de la resistencia de pilas de ladrillos.	66
Tabla 4.22:	Absorción de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	67
Tabla 4.23:	Absorción de ladrillos artesanales de acuerdo a su ubicación en el horno.	67
Tabla 4.24:	Análisis de varianza de la absorción de ladrillos.	68
Tabla 4.25:	Absorción de probetas según su temperatura de cocción y adición de diatomita.	68
Tabla 4.26:	Análisis de varianza del porcentaje de absorción	69
Tabla 4.27:	Succión normalizada de ladrillos artesanales con adición de diatomita.	70
Tabla 4.28:	Succión normalizada de ladrillos artesanales según su ubicación. .	70
Tabla 4.29:	Análisis de varianza de la absorción de ladrillos.	71
Tabla 4.30:	Succión normalizada de probetas con adición de diatomita según su temperatura de cocción.	71
Tabla 4.31:	Análisis de varianza de la succión de probetas.	72
Tabla A.1:	Resistencia a la compresión de ladrillos con adición de diatomita.	85

Tabla A.2: Resistencia a la compresión de ladrillos sin adición de diatomita de acuerdo a su ubicación en el horno.	86
Tabla A.3: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 750 °C.	86
Tabla A.4: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 850 °C.	87
Tabla A.5: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 950 °C.	87
Tabla A.6: Porcentaje de absorción de ladrillos con adición de diatomita.	88
Tabla A.7: Porcentaje de absorción de ladrillos sin adición de diatomita y según su ubicación en el horno. <i>Continúa en la página siguiente.</i>	88
Tabla A.8: Porcentaje de absorción de ladrillos sin adición de diatomita y según su ubicación en el horno. <i>Viene de página anterior.</i>	89
Tabla A.9: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 750 °C.	89
Tabla A.10: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 850 °C.	90
Tabla A.11: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 950 °C.	90
Tabla A.12: Succión normalizada de ladrillos con adición de diatomita.	91
Tabla A.13: Succión normalizada de ladrillos sin diatomita según su ubicación.	92
Tabla A.14: Succión normalizada de probetas cocidas a 750 °C.	93
Tabla A.15: Succión normalizada de probetas cocidas a 850 °C.	93
Tabla A.16: Succión normalizada de probetas cocidas a 950 °C.	94
Tabla A.17: Resistencia a compresión axial de pilas.	94

Lista de símbolos

Símbolo	Significado	SI
f_b	Resistencia a compresión axial del ladrillo	$[kg/cm^2]$
f'_b	Resistencia característica de unidades de albañilería	$[kg/cm^2]$
f_m	Resistencia a compresión de pila de albañilería	$[kg/cm^2]$
f'_m	Resistencia característica de pila de albañilería	$[kg/cm^2]$
T°	Temperatura en grados centígrados	$[^\circ C]$
λ	Coefficiente de conductividad térmica	$[J/(s.m.^\circ K)]$

Acrónimos

COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

DRX: Difracción de Rayos X

EDX: Energías Dispersivas de Rayos X

MO: Microscopia Óptica de Polarización

MEB-EDS: Microscopía Electrónica de Barrido

TGA: Análisis Termo-Gravimétrico

PIM: Porosimetría por Intrusión de Mercurio

FRX: Fluorescencia de Rayos X

ATD: Análisis Térmico Diferencial

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

MVCS: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento

NTP: Norma Técnica Peruana

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

ASTM: American Society for Testing and Materials

RMI: Rocas Minerales Industriales

Glosario

Caliche: Restos de carbonato de calcio presentes en el ladrillo que al hidratarse produce hinchamiento o desconchamiento en la superficie (Santos, M., 2018). Dependiendo del tamaño de la partícula, los carbonatos tienen un comportamiento diferente (Elías, X, 2015).

Confort térmico: Es la sensación donde los ocupantes no expresan ninguna sensación de calor o frío y no necesitan tomar acciones adicionales para mantener un balance térmico (Harman, L., 2010).

Efecto Knudsen: Puede describirse como un efecto que ocurre cuando la conductividad térmica disminuye en materiales porosos debido a que el camino libre de las moléculas de gas se vuelve más grande que el diámetro de los poros (Jelle, BP et al., 2018). Un material térmicamente aislante debería presentar una gran fracción de volumen de poros lo más finos posible con una distribución de tamaño uniforme y no organizados espacialmente (Nait-Ali, B et al., 2007).

Envolvente: Parte exterior de una edificación cuya función, aparte de la estructural, es proteger el interior de la intemperie y los ruidos.

Gabera: Molde que se usa para la fabricación de ladrillos artesanales hecho de madera por lo general de cuatro compartimentos.

Inercia térmica: Barcelo, C. (s f) Es la capacidad de algunos materiales para amortiguar y retardar la pérdida o ganancia de calor.

Recochos: Ladrillos opacos y deformados por excesiva temperatura de cocción.

Hematites: Se encuentra en muchas arcillas (óxido de hierro). Luego de la cocción tiñe de color rojo los ladrillos (Elías, X, 2015).

Introducción

Siendo Ayacucho una de las principales reservas de tierras diatomeas a nivel nacional que casi no es explotada, se pretende en esta investigación promover y aprovechar sus características de baja densidad y alta porosidad para fabricar ladrillos artesanales más livianos, con mejor comportamiento térmico y mejor aislación acústica.

Los ladrillos artesanales fabricados en el distrito de Pacaycasa son de uso muy difundido a nivel regional por su versatilidad y bajo costo, aun cuando no alcanzan una suficiente calidad estructural. Al ser Ayacucho una de las regiones con mayor pobreza del Perú, con recursos minerales poco explotados, las tierras diatomeas se presentan como una gran oportunidad para reducir brechas económicas y, al mismo tiempo, mejorar las propiedades termoacústicas de los ladrillos artesanales que podrían incentivar su uso en reemplazo de los ladrillos tipo pandereta y, a la vez, disminuir el peso muerto de la edificación.

Se estudia el proceso de moldeado, secado y cocción de ladrillos fabricados con tierras diatomeas que luego son sometidos a diferentes pruebas para determinar sus propiedades físicas, mecánicas y de conductividad térmica. Siendo la cocción uno de los procesos más importantes de la fabricación del ladrillo, se estudia la influencia de la temperatura de cocción en probetas con adición de diatomita de 1.5” y que fueron quemadas en un horno eléctrico a 750 °C, 850 °C y 950 °C.

El siguiente trabajo de investigación está estructurado en diferentes capítulos que se describen a continuación:

1. **Capítulo I -Generalidades:** Expone la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema, su justificación e importancia, y objetivos de la investigación.
2. **Capítulo II - Marco teórico y marco conceptual:** Se detallan los antecedentes bibliográficos nacionales e internacionales. Se desarrolla la fundamentación teórica referida al proceso de fabricación de ladrillos artesanales y las diferentes pruebas clasificatorias y no clasificatorias que se le practican al ladrillo.

3. **Capítulo III - Marco metodológico:** Comprende el tipo de investigación, la población, la muestra, se plantea las hipótesis, las variables, las técnicas estadísticas e instrumentos. Se especifica la manera en que se hizo el estudio del perfil de temperaturas del horno tipo volcán. Comprende el proceso de fabricación de ladrillos con adición de diatomita y se identifica sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas.
4. **Capítulo IV - Resultados y discusiones:** Se analiza los resultados obtenidos en el desarrollo experimental. Se realiza un análisis de varianza y se evalúa la influencia de la diatomita y la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillo artesanales.
5. **Capítulo V - Conclusiones y recomendaciones:** Se resume los datos importantes obtenidos, se presenta las conclusiones de la investigación, en relación a los objetivos establecidos y la demostración de la hipótesis.
6. **Anexo:** Contiene los datos obtenidos durante la experimentación, cálculos, cartillas de encuestas, fotos complementarias.

Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la región Ayacucho, la fabricación de ladrillos artesanales se ha transmitido dentro de las familias a través del conocimiento tradicional. En el distrito de Pacaycasa, se sigue usando las mismas materias primas que empiezan a escasear lo que obliga a usar cada vez más de suelos poco adecuados. Los ladrillos se elaboran manualmente lo que resulta en ladrillos heterogéneos, de baja calidad, cuyo proceso de quema es en hornos ineficientes que contaminan y donde la sinterización del ladrillo es incompleta y dispareja. La falta de capital para invertir en tecnología, falta de investigación de procesos y materias primas da como resultado ladrillos de baja calidad en un mercado cada vez más competitivo.

Tabla 1.1: Viviendas por material de construcción predominante en las paredes exteriores. Fuente: Adaptado de [INEI \(2007\)](#) e [INEI \(2017\)](#).

N°	Material	2007	2017
1	Ladrillo o bloque de cemento	15.59 %	26.13 %
2	Adobe, tapial, piedra con barro	76.04 %	65.84 %
3	Madera	5.19 %	6.54 %
4	Otros	3.18 %	1.49 %
Total de viviendas		158 261	173 344

Los últimos Censos Nacionales de vivienda (Tabla 1.1), evidencia que, entre 2007 y 2017 en la región Ayacucho, las viviendas construidas con material noble aumentaron en 10 % (más de veinte mil viviendas nuevas) y la tendencia sigue en aumento. En casi la totalidad de estas viviendas, se usaron ladrillos artesanales por su bajo costo, en conjunto con ladrillos tipo pandereta. Éstos últimos, usados para la envolvente de los últimos pisos, los parapetos de las azoteas y en los muros de tabiquería para las subdivisiones interiores.

En albañilería confinada, los muros, en conjunto con las vigas y columnas de confinamiento, son los elementos más importantes porque son los encargados de transmitir toda la carga vertical a la cimentación y para resistir las fuerzas sísmicas (Blondet, M et al., 2017). Sirven, también, como protección del ambiente exterior y son los principales responsables del confort térmico y acústico al interior de la vivienda. Sin embargo, las viviendas en la región, usan ladrillos artesanales de baja calidad y, peor aún, ladrillos tipo pandereta que no podría resistir fuerzas sísmicas y tampoco proteger del calor, frío, ruido.

De acuerdo a la encuesta sobre confort térmico realizada el año 2018 en las asociaciones de Covadonga y Artesanos del distrito de Ayacucho (Anexo A.8 adaptado de MVCS (2013)), se constató que, en los pisos superiores de una vivienda, se tiende a usar ladrillos tipo pandereta (Figura 1.1) que además de tener un pésimo comportamiento estructural, tienen problemas de eficiencia energética. Con los ladrillos artesanales, la sensación de confort mejora un poco pero es insuficiente. En las habitaciones con ventanas grandes de vidrios transparentes, la sensación de frío en las noches y calor durante los días soleados se agudizan.



Figura 1.1: Vivienda asociación Covadonga con envolventes ineficientes térmicamente (muros en soga de ladrillo tipo pandereta, ventanas grandes.)

Ayacucho es una de las regiones más pobres (Figura 1.2) que desaprovecha mucho sus recursos naturales como las tierras diatomeas de alta ocurrencia en comparación a otras regiones del Perú (Figura 1.3) que están distribuidas en canteras de acuerdo a la tabla 1.2, relativamente cerca del distrito de Pacaycasa donde se concentran las

fábricas de ladrillos artesanales. Es un material de baja densidad y baja conductividad térmica y acústica que puede emplearse como complemento de la arcilla para la fabricación de ladrillos.

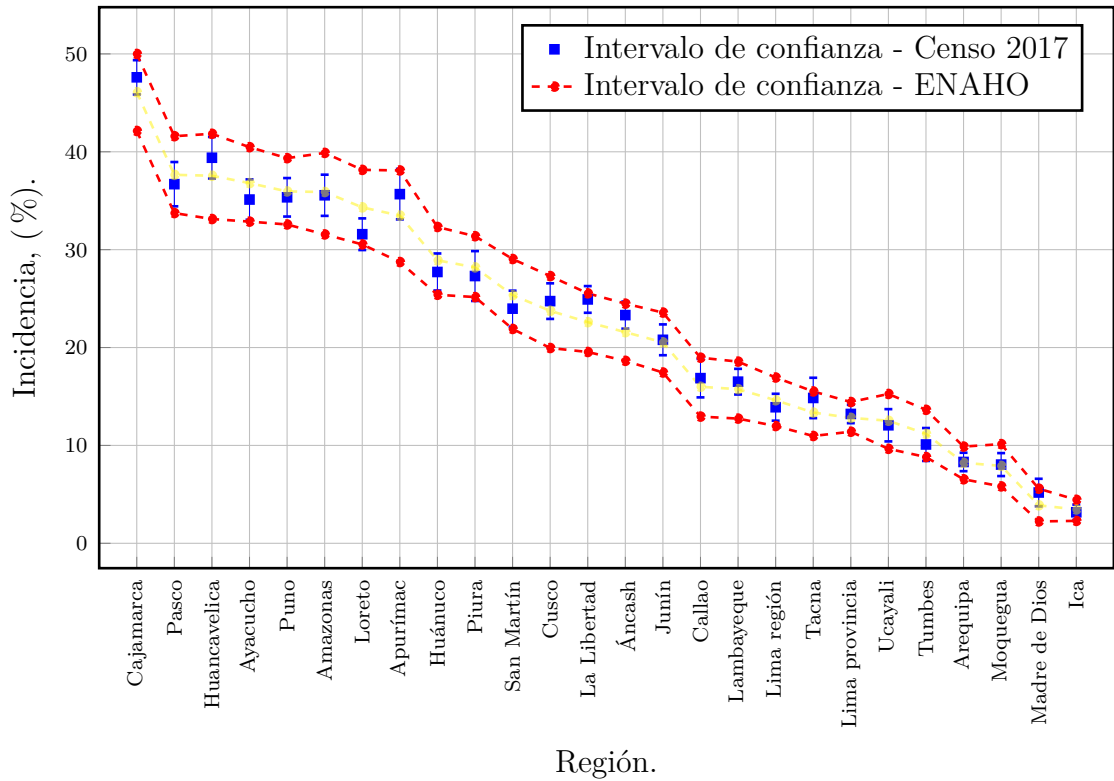


Figura 1.2: Incidencia de la pobreza total estimada en el censo 2017 y la incidencia observada en la ENAHO 2017-2018 por regiones. Fuente: INEI (2020)

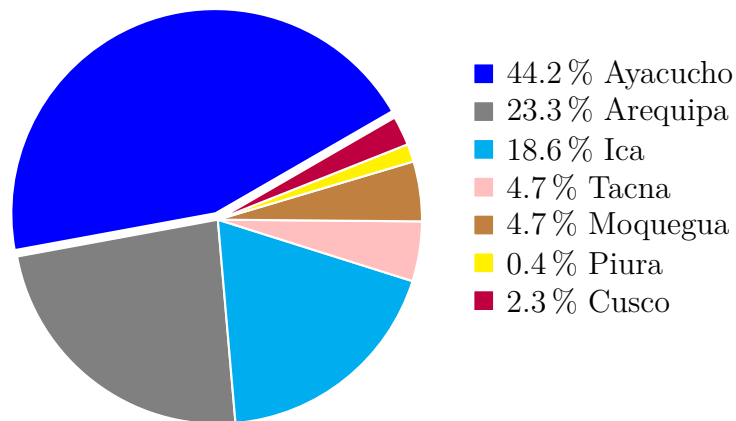


Figura 1.3: Oferta potencial de diatomita en el Perú por regiones Fuente Díaz, A & Ramírez, J (2009).

,

1.2 Delimitación del problema

Tabla 1.2: Canteras de diatomita por región. Fuente: [Díaz, A & Ramírez, J \(2009\)](#).

N°	Región	Núm de canteras
1	Ayacucho	19
2	Arequipa	10
3	Ica	8
4	Piura	2
5	Tacna	2
6	Cusco	1
7	Moquegua	1
Total		43

1.2.1 Espacial (geográfica)

La investigación tuvo su desarrollo en el distrito de Pacaycasa donde se concentra un buen porcentaje de la producción de ladrillos artesanales en la región Ayacucho. Las tierras diatomeas fueron extraídas de la cantera Moya en el distrito de Quinua.

1.2.2 Temporal

La investigación tuvo su desarrollo entre los años 2018 (encuesta) y 2021 (parte experimental).

1.2.3 Temática y unidad de análisis

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales cuando se adiciona tierras diatomeas a su masa cerámica en diferentes proporciones y se estudia sus propiedades cuando son cocidas a diferentes temperaturas.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera, la adición de diatomita y la variación de la temperatura de cocción, modifican las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho?

1.3.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo influye la adición de diatomita en proporciones de 10 %, 20 % y 30 % sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?
2. ¿De qué manera varía la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho, si se le adiciona diatomita en 10 %, 20 % y 30 %?

3. ¿Cómo influye la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?
4. ¿Cómo influye la temperatura de cocción en la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?

1.4 Justificación e importancia

La importancia de esta investigación es desarrollar ladrillos con adición de diatomita que tienen una mejor eficiencia energética por lo que su uso podrá mejorar el confort térmico al interior de las mismas. Sobre todo en las habitaciones de los pisos superiores que son los que mayor radiación solar reciben en su envolvente y que están contruidos con ladrillos tipo pandereta y con ventanas muy grandes.

De los principales depósitos de RMI (Rocas Minerales Industriales) que se han identificado con posibilidad económica en la región Ayacucho se tiene a la diatomita con el 10 % superado solo por la caliza, arcilla y puzolana (Figura 1.4a). Aprovecharlo en la industria ladrillera podrá impulsar su explotación que ahora es mínima y artesanal (Figura 1.4b).



Figura 1.4: (a) Principales rocas minerales industriales en la Región Ayacucho. (b) Distribución del valor de la producción de las principales rocas y minerales industriales.

Una nueva alternativa para la diatomita podría estar en desarrollar ladrillos livianos y aislantes para la construcción de viviendas. Al incentivar su uso, se estará generando mayores oportunidades de desarrollo. El diagrama de la Figura 1.5 brinda un resumen de la importancia de esta investigación.

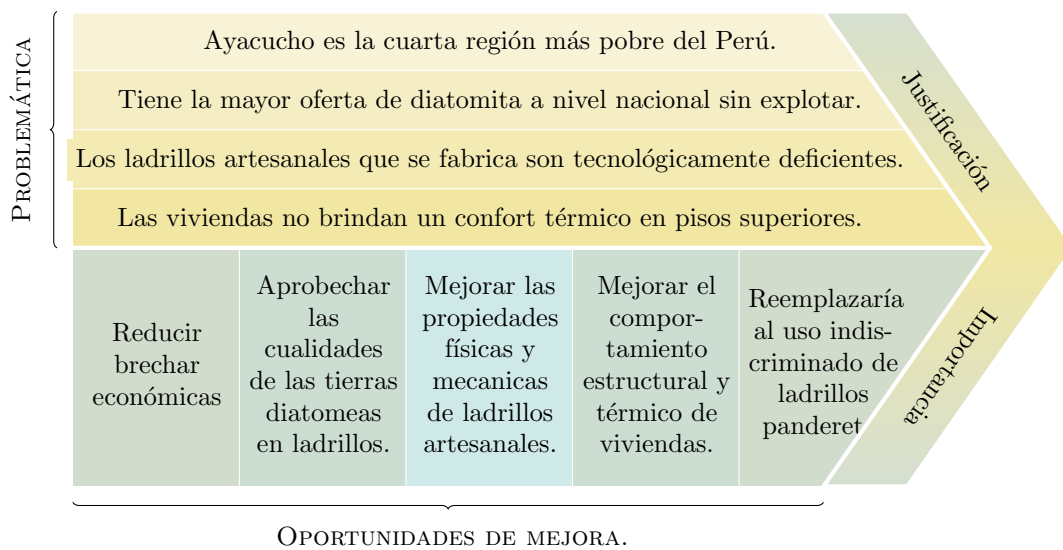


Figura 1.5: Importancia de la investigación.

1.5 Limitaciones de la investigación

No se ha estudiado los efectos de añadir diatomita en porcentajes mayores al 30 % y temperaturas superiores a los 950 °C. No se ha sometido a ensayos de mueretes.

Faltó complementar la base analítica con los siguientes ensayos: Microscopia óptica de polarización (MO), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB-EDS), Fluorescencia de rayos X (FRX), técnicas de difracción de Rayos X (DRX), Análisis Termogravimétrico (TGA), Porosimetría por Intrusión de Mercurio (PIM), Análisis térmico diferencial (ATD). Todos estos ensayos nos habrían permitido un mejor entendimiento de todas las transformaciones que ocurren antes durante y después de la quema de los ladrillos y el efecto de la diatomita en el material cerámico.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la adición de diatomita y la variación de la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Analizar la influencia de la adición de diatomita en proporciones del 10 %, 20 % y 30 % sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la

región Ayacucho.

2. Evaluar la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho cuando se adiciona diatomita en 10 %, 20 % y 30 %.
3. Evaluar la influencia de la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho.
4. Evaluar la resistencia de los ladrillos artesanales al ser sometidos a diferentes temperaturas de cocción.

Capítulo II

Marco teórico y conceptual

2.1 Antecedentes bibliográficos

La incorporación de aditivos a la masa cerámica de ladrillos tiene diferentes propósitos. Por ejemplo, [Okunade, E. \(2015\)](#) recomienda que se agregue materia orgánica como cáscara de arroz, acerrín y carbón para el control de poros y la quema más uniforme, arena fina para controlar la contracción durante el secado y, finalmente, aditivos de fusión para aumentar la unión entre partículas que son materiales cementosos o puzolánicos que incluyen la cal tradicional y cenizas.

En esta misma línea, se han desarrollado investigaciones añadiendo diatomita a los ladrillos para modificar las propiedades térmicas, físicas y mecánicas de ladrillos artesanales e industriales.

2.1.1 Investigaciones internacionales

Según [Illana, C & Blanco, MN \(2008\)](#), las primeras evidencias del uso de diatomita para fabricar ladrillos de poco peso para la construcción, fueron los griegos. [Galán, RJ et al. \(2017\)](#), utilizaron tierras diatomeas que previamente habían sido utilizadas para refinar aceites vegetales y cerveza, elaborando ladrillos con un mejor comportamiento en el proceso de secado, más ligeros y con mayor porosidad, aunque con una disminución de su resistencia a la compresión. [Hasan, M. et al. \(2021\)](#), por otro lado, usaron diatomita para fabricar ladrillos más ligeros sin que se vea afectada su resistencia.

[Zúñiga, A \(2018\)](#) usó tierra diatomeas en una proporción de 40 % obteniendo ladrillos más livianos hasta en un 21 % aunque con una disminución de su resistencia. [Pico & Carrasco \(2018\)](#) elaboraron ladrillos 27 % más livianos, homogéneos y con un

incremento de su resistencia en más del 60 %. [Rodríguez, G. \(2016\)](#) encontró que a medida que incrementaban la tierra diatomácea, la conductividad térmica efectiva disminuyen y el porcentaje de absorción de agua aumentaba.

[Cultrone & Elias \(2018\)](#), en su investigación, pudieron determinar que el lodo de diatomita calcinada da lugar a ladrillos más porosos y con mayor capacidad de absorber agua. En la misma línea, los resultados que obtuvieron [Pimraksa, K & Chindaprasit, P \(2009\)](#), da cuenta que la tierra de diatomeas posee propiedades puzolánicas y que se puede utilizar para fabricar ladrillos ligeros donde la calcinación de la tierra diatomeas da como resultado “la deshidroxilación de los minerales arcillosos y contribuye a una reacción puzolánica adicional y a mejores propiedades mecánicas y térmicas del ladrillo ligero”.

Las investigaciones antes mencionadas y otras más que se han consultado, coinciden en que el uso de tierras diatomeas reducen la densidad de los ladrillos y aumentan su absorción. Sin embargo, en algunos casos su resistencia aumentaba y en otros, disminuía. Esta aparente contradicción se debe a la manera en que las diatomitas interactúan con los distintos tipos de tierras usadas.

2.1.2 Investigaciones nacionales

La empresa Cementos Pacasmayo, aprovecha como materia prima las tierras diatomeas para fabricar sus ladrillos *soltek* que, entre sus características destacan mejores propiedades térmicas y acústicas y una reducción de su peso de hasta 25 % con lo que reducen los costos de transporte y se optimiza el avance de la obra ([Constructivo, 2020](#)).

[Huamaní, M. & Solís, S. \(2020\)](#) elaboraron ladrillos artesanales con adiciones del 15 % y 25 % de diatomita, aumentando significativamente su absorción y succión, mientras que la resistencia a la compresión tendía a disminuir si la diatomita excedía el 15 %. En cuanto a los ensayos de alabeo y variación dimensional no presentaron alteraciones notorias. [Manuel, BY \(2015\)](#), con diatomita de Chiguata, Arequipa, obtuvo ladrillo 11 % más liviano que los tradicionales, con buena estabilidad dimensional, buen aislante térmico, con resistencia máxima de 13.5 Mpa.

[Saldarriaga, DS \(2009\)](#), investigó la factibilidad de usar tierras diatomeas para la fabricación de ladrillos y cerámicos aislantes con mejores propiedades térmicas aunque sus propiedades mecánicas disminuyen.

[Suma, S. et al. \(2008\)](#) realizaron un estudio comparativo entre hornos tradicionales, intermitentes, semicontinuos y continuos. Concluyeron que los hornos intermitentes tipo volcán presentan el problema de combustión incompleta de los combustibles por falta de oxígeno lo que origina mayor contaminación, mayor gradiente térmica,

la quema es deficiente, pierden mucha energía por lo que los ladrillos son de baja calidad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El ladrillos

Los ladrillos son aquellas unidades cuya dimensión y peso permiten su manipulación con una sola mano (E.070, 2006). Están entre los materiales más importantes de la construcción por su resistencia, durabilidad, fácil transporte y uso, buen aislante termoacústico, resistente al fuego y bajo costo de manufactura (García, VJ et al., 2016). Sus propiedades tecnológicas no solo dependen de la granulometría y mineralogía de las materias primas, también dependen mucho del proceso productivo que implica el moldeo, secado, cocción, tiempo de permanencia en el horno, entre otros.

2.2.2 La arcilla

Se trata de una roca sedimentaria conformada por partículas muy finas ($< 2\mu\text{m}$), de características plásticas y que está constituido por filosilicatos, cuarzo, feldspatos, calcitas, piritas, entre otros (Guggenheim, S. & Martín, R.T., 1995). Es la principal materia prima de la industria ladrillera aunque por sí sola es insuficiente (Santos, J. et al., 2011).

El SiO_2 es el compuesto de mayor proporción en las arcillas. Comúnmente, contiene entre el 45 % y el 60 %. A más SiO_2 , se requiere menos agua para moldear, lo que refleja el carácter no plástico del mineral. produce piezas con menor densidad y resistencia mecánica, que aquellas arcillas con menos contenido de SiO_2 como lo explica García-Ten, J. et al. (2010). Más allá del 60 %, las arcillas son más apropiados para la elaboración de ladrillos refractarios (Rafukka, I.A. et al., 2013a,b).

El segundo componente más común es el Al_2O_3 . Durante el proceso de cocción, el Al_2O_3 reacciona y forma mullita que produce un aumento de las resistencias químicas y mecánicas. Los porcentajes varían de 10 % a 20 % (Muñoz, P et al., 2016).

Cuando los ladrillos se queman dentro de una atmósfera con poco oxígeno, la combustión incompleta de Fe_2O_3 conduce a producir FeO que reacciona con la sílice y atrapa los gases en la matriz de arcilla y evita su escape. Esto produce un efecto de hinchamiento en las piezas que se conoce como *núcleo negro* entre los fabricantes. (Muñoz, P et al., 2016).

El CaO reacciona con la sílice para formar wollastonita o pseudo-wollastonita (Ca-SiO_3), dependiendo de la temperatura de cocción. Ambas estructuras de cristal

proporcionan un aumento de la resistencia mecánica y una reducción de la contracción por cocción. En general, por debajo del 8 % de la arcilla se considera no calcárea y más allá de este límite se denomina calcáreo. Este último tipo de arcilla tiende a mostrar una mayor porosidad y una menor densidad, ya que los porosos deben rellenarse con CaO_3 , lo que conduce a reducir la contracción por cocción y la absorción de agua. Ambos tipos de arcillas se pueden usar para la fabricación de ladrillos, pero entre los fabricantes se muestran muchos más ejemplos de no calcáreos (Muñoz, P et al., 2016).

Las arcillas más plásticas y en mayor cantidad podrían producir ladrillos de mejor calidad. (Mella, A., 2004). Sin embargo, demasiado contenido de arcilla reduce la trabajabilidad durante el moldeo y aumenta la tasa de contracción, formando así grietas durante el secado de los ladrillos crudos (Mueller, H. et al., 2008).

2.2.2.1 Principales minerales arcillosos

La composición mineralógica se realiza por medio de ensayos de DRX. El análisis químico se realizan por fluorescencia de rayos X (FRX).

Caolinita: La presencia de la caolinita superior al 20 % requieren de mayor temperatura de cocción, reduce la plasticidad, seca más fácilmente y son de baja resistencia. (Bernal, I. et al., 2003)

Illita: Este tipo de arcilla presenta cierta fricción interna. Su hinchazón es mayor que las Caolinitas, pero mucho menor que las Montmorillonitas.

Montmorillonita: Su presencia no son muy adecuadas porque requieren de mucha agua para el amasado y son expansivas.

Clorita:

2.2.2.2 Canteras de arcillas en Ayacucho

Se detalla alguna de las canteras y las ocurrencias de las arcillas en el departamento de Ayacucho. (tabla 2.1) , la mayoría de ellas no son aprovechadas.

Tabla 2.1: Canteras de arcilla común en la región Ayacucho. Fuente [Díaz, A et al. \(2017\)](#).

N	Cantera	Provincia	Distrito	Este	Norte
1	Chumepampa	Huanta	Luricocha	572816	8578214
2	Patasucro	Huanta	Huanta	583883	8574328
3	Viru viru	Huanta	Huanta	576679	8566170
4	Llacchuapampa	La Mar	San Miguel	612762	8562234
5	Marcoquichcca	La Mar	Chungui	648689	8533730
6	Pampanhuaylla	La Mar	Chungui	614667	8559884
7	Pacaycasa	Huamanga	Pacaycasa	584349	8555914
8	Paraíso	Huamanga	Ayacucho	579289	8553682
9	Chillico	Huamanga	San José de Tiellas	578036	8551497
10	Socos	Huamanga	Socos	578448	8539146
11	San Rafael	Huamanga	Socos	574321	8541209
12	Huallhua	Vilcas Huamán	Saurama	631352	8485266
13	Pampacruz	Cangallo	Cangallo	597360	8492687
14	Colcabamba	Víctor Fajardo	Colca	605675	8484011
15	Huancaccasa	Víctor Fajardo	Canaria	605675	8484011

2.2.2.3 Composición química de la arcillas de Ayacucho

La composición química de las principales canteras de la región Ayacucho se detalla en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Análisis químico de arcilla comunes. Fuente: [Díaz, A et al. \(2017\)](#), Laboratorio INGEMMET 2015.

N°	Cantera	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	LOI*
1	Chumepampa	12.37	12.19	4.74	2.34	2.95	0.08	1.11	0.32	46.23	0.80	16.06
2	Patasucro	16.04	1.19	14.61	1.84	0.64	0.33	0.81	0.27	44.82	0.99	16.77
3	Viru viru	13.03	4.36	4.49	2.65	2.20	0.09	1.61	0.24	58.06	0.53	14.08
4	Llacchuapampa	11.86	9.60	5.10	1.81	2.82	0.10	0.74	0.27	51.39	0.82	17.12
5	Marcoquichcca	17.69	1.55	10.66	1.03	3.15	0.22	3.58	0.27	50.24	0.90	11.07
6	Pampanhuaylla	10.78	6.20	4.45	3.01	7.72	0.09	0.23	0.23	50.31	0.73	13.86
7	Pacaycasa	13.12	3.63	3.88	2.97	1.02	0.10	2.11	0.22	63.31	0.57	7.85
8	Paraíso	12.25	5.73	4.93	2.21	2.56	0.08	1.34	0.35	55.26	0.83	13.51
9	Chillico	13.79	4.92	4.85	2.02	2.06	0.09	2.00	0.43	57.62	0.90	11.05
10	Socos	12.76	1.56	1.61	0.94	2.71	0.04	1.58	0.10	61.53	0.22	16.61
11	San Rafael	13.57	11.04	5.15	2.15	2.78	0.09	0.60	0.19	48.28	0.77	16.01
12	Huallhua	21.81	1.99	9.14	0.59	1.89	0.09	4.53	0.22	48.94	1.13	8.87
13	Pampacruz	18.15	0.37	4.09	3.31	0.43	0.07	1.15	0.10	63.80	0.75	7.30
14	Colcabamba	12.86	12.40	4.94	1.86	1.31	0.12	1.65	0.25	48.88	0.67	14.93
15	Huancaccasa	14.20	2.50	5.05	2.78	0.95	0.11	1.85	0.11	62.57	0.76	9.04

2.2.2.4 Análisis mineralógico de arcillas comunes

En la tabla 2.3 se detalla el porcentaje de minerales presentes en las canteras de arcilla.

Tabla 2.3: Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X (DRX) de las arcillas comunes de la región Ayacucho. Fuente: Díaz, A et al. (2017).

N°	Cantera	Proporción de minerales (%)								
1	Chumepampa	Cuarzo 51.12	Calcita 25.06	Dolomita 8.88	Albita 6.97	Clorita 2.81	Mont* 1.8	Muscovita 1.35	Augita 1.11	Hematita 0.9
2	Patasucro	Cuarzo 33.59	Amorfo 21.96	Goetita 9.04	Mont 7.75	Caolinita 7.24	Anortita 6.2	Rutilo 5.94	Hematita 4.91	Otros 3.37
3	Viru viru	Cuarzo 35.97	Albita 18.48	Calcita 18.48	Mont 11.88	Augita 4.62	Muscovita 3.3	Yeso 2.97	Beidellita 2.65	Dolomita 1.65
4	Llacchuapampa	Cuarzo 38.15	Calcita 36.22	Mont 13.67	Albita 7.97	Hematita 2.28	Muscovita 0.68	Libertinita 0.57	Clorita 0.46	
5	Marcoquichcca	Mont 41.59	Albita 25.65	Amorfo 15.6	Cuarzo 9.19	Augita 3.29	Goetita 1.73	Lizardita 1.56	Muscovita 1.39	
6	Pampanhuaylla	Cuarzo 58.43	Dolomita 11.8	Calcita 11.47	Mont* 6.06	Microclina 3.2	Marialita 2.54	Hematita 2.21	Augita 1.65	Otros 2.64
7	Pacaycasa	Cuarzo 46.58	Anortita 24.03	Amorfo 11.06	Mont* 7.38	Calcita 6.01	Caolinita 1.69	Hematita 1.26	Rodocrosita 1.16	Muscovita 0.83
8	Paraíso	Cuarzo 41.42	Calcita 22.7	Anortita 11.49	Amorfo 11.35	Mont 9.93	Caolinita 1.7	Paligorskita 1.41		
9	Chillico	Anortita 24.55	Cuarzo 24.15	Mont 21.96	Amorfo 13.97	Calcita 8.17	Caolinita 2.4	Muscovita 1.4	Hematita 1.2	Otros 2.2
10	Socos	Mont 43.65	Cristobalita 24.52	Amorfo 20.53	Anortita 7.32	Cuarzo 3.21	Muscovita 0.77			
11	San Rafael	Cuarzo 50	Calcita 32.46	Albita 4.58	Mont 4.18	Baritina 3.19	Caolinita 1.39	Muscovita 1.2	Pirita 1.1	Otros 1.9
12	Huallhua	Albita 80.62	Mont 9.84	Caolinita 3.8	Muscovita 2.24	Aegirina 1.07	Rodonita 0.78	Tremolita 0.68	Clorom** 0.58	Hematita 0.39
13	Pampacruz	Cuarzo 65	Caolinita 11.49	Albita 10.11	Microclina 9.26	Augita 2.87	Hematita 1.27			
14	Colcabamba	Calcita 40.82	Cuarzo 23.42	Albita 15.89	Mont 10.96	Amorfo 5.48	Hematita 1.92	Caolinita 0.82	Dolomita 0.69	
15	Huancaccasa	Cuarzo 50.71	Albita 22.51	Amorfo 17.09	Heulandita 2.28	Calcita 2.14	Muscovita 1.71	Anatasa 1.57	Andradita 1.14	Clorom** 0.85

* Montmorillonita, ** Cloromagnesita

Estudios realizados por Bellido, J. (2013) ha identificado tres canteras principales de arcilla (Trigopampa, Llamuqtachi, Paraíso), las cuales siguen siendo explotadas hasta la actualidad. También menciona que los ladrillos con mejores propiedades se obtienen al mezclar tierras de la cantera Llamuqtachi y Trigopampa.

2.2.2.5 Cantera de Llamuqtachi

Son de color beige Claro, con textura arenosa y áspera al tacto, absorción rápida de agua, contiene carbonato de calcio en regular cantidad, de muy baja plasticidad, contracción de 4.4%, requiere la adición de 12.5% de agua para su amasado, actúa como desgrasante, es adecuada para su uso en conjunto con Cantera Rosa de Trigopampa (Bellido, J., 2013).

2.2.2.6 Cantera de Trigopampa

Es de color beige oscuro, con textura granular suave al tacto, absorción lenta de agua, bajo contenido de carbonato de calcio, alta plasticidad, contracción de 6.5%, requiere la adición de 14 % de agua para su amasado, por su alta plasticidad requiere la adición de un desengrasante (tierra arenosa) (Bellido, J., 2013).

2.2.3 Limo

Varía de 0,002 mm a 0,063 mm y actúa como mediador entre la arena y la arcilla reduciendo la plasticidad y evitando grietas de alta retracción durante el proceso de secado (Mueller, H. et al., 2008). Incrementa la resistencia de los ladrillos. (Betancourt, D. et al., 2013)

2.2.4 Arena

El tamaño de grano de la arena es superior a 0,063 mm. Sin embargo, para la fabricación de ladrillos de buena calidad, las partículas de arena más gruesas de 2 mm no son adecuadas. La arena suele estar formada por partículas de sílice libre (SiO₂) o cuarzo (transformación polimórfica de la sílice) (Mueller, H. et al., 2008).

La arena (menos del 30 %) también es esencial en la fabricación de ladrillos, ya que ayuda a abrir la estructura de arcilla fina y la hace viable para el moldeado manual, de modo que la tierra de fabricación no se pegue a la mano o al molde. Durante la cocción de un ladrillo previene la contracción evitando así grietas de cocción, alabeos y la obtención brusca de vitrificación (Mueller, H. et al., 2008).

2.2.5 Desengrasantes

Su presencia mejora la permeabilidad y el empaquetamiento del barro, reduce la excesiva plasticidad, aumenta la porosidad, facilita el secado e incrementar la resistencia de los ladrillos (Galán, E. & Aparicio, P., s f). Reaccionan durante la cocción formando nuevos componentes como por ejemplo el caolín (Mella, A., 2004) y los limos.

2.2.6 Elementos fundentes

Su presencia ayuda a disminuir la temperatura de cocción para que ocurra la sintetización donde se forman fases cristalinas que aportan resistencia al ladrillo (Rodríguez, KM, 2010).

2.2.7 Diatomitas o tierras diatomeas

Son rocas sedimentarias silíceas (dióxido de silicio, SiO₂). es un mineral inerte muy difícil de destruir, formadas por la acumulación de frústulas de diatomeas (Ramírez, JF, 2012).

2.2.7.1 Características de la diatomita

Las propiedades de las tierras diatomeas que más se aprovecha en la construcción son: su alta permeabilidad, elevada absorción, bajo coeficiente de transmisión de calor, buen aislante sonoro y baja densidad (Rospigliosi, C. y Boulangger, E., (1994) citado por Ramírez, JF (2012)). Posee una estabilidad dimensional hasta temperaturas de 1470 °C. Se usa como aporte de sílice en cerámica y como mezcla puzolánica en el cemento (Fraser, 1976).

2.2.7.2 Canteras de Diatomitas en Ayacucho

Los estudios realizados por Verdeja, L. et al. (1992) demostraron que las diatomitas presentes en la región Ayacucho (tabla 2.4) son de muy buena calidad debido a su alto contenido de sílice y pocos contaminantes. Las reservas del yacimiento de Ayacucho se estiman en más de 5 millones de toneladas y aún quedan varias áreas por explorar (Agramonte, BJ, 1983).

Tabla 2.4: Ocurrencias y canteras de diatomita en Ayacucho. Fuente: (Díaz, A et al., 2017).

N	Cantera	Provincia	Distrito	Este	Norte
1	Moya	Huamanga	Quinua	593703	8558927
2	Tambillo	Huamanga	Tambillo	596224	8541721
3	Condoray 1	Huamanga	Tambillo	593924	8539688
4	San Pedro de Quicato	Huamanga	Acocro	606265	8528894
5	Quicapata	Huamanga	Carmen Alto	583728	8541508
6	Trancahuayco	Huamanga	Acocro	604213	8535154
7	Pampa Titanca	Huanca Sancos	Huanca Sancos	568377	8464429
8	Condoray 2	Huamanga	Tambillo	594274	8540603

Cantera Moya: Se encuentra a tres kilómetros de la comunidad de Quinua, provincia de Huamanga. Consiste en diatomitas de color blanco y tonalidad cremosa (figura 2.1a). las reservas de diatomita en la zona de Moya se calcula en más de un millón de toneladas (Díaz, A et al., 2017).

2.2.7.3 Caracterización física de las diatomitas de Ayacucho

Verdeja, L. et al. (1992) caracterizaron físicamente dos canteras de diatomita de la región Ayacucho: Cantera Quicapata (Carmen Alto) y cantera Moya (Quinua)



(a) Cantera Moya



(b) Cantera Tambillo

Figura 2.1: Canteras de diatomita en la región de Ayacucho.



(a) Condoray 1



(b) Condoray 2

Figura 2.2: Vista de la diatomita de las canteras de Ayacucho.

(Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Características física de las diatomitas de Ayacucho. Fuente (Verdeja, L. et al., 1992).

Propiedad	Quicapata	Moya
Densidad real (g/cm^2)	2.25	2.22
Densidad global (g/cm^2)	0.41	0.36
Porosidad total (%)	81.54	83.76
Sup. específica Hg , (m^2/g)	11.20	11.30
Sup. específica N_2 , (m^2/g)	23.20	19.80

2.2.7.4 Composición química de las diatomitas de Ayacucho

Según Díaz, A et al. (2017) las diatomitas económicamente aprovechables deben estar por encima de un 80 % para calidades altas y un 58 % de contenido de sílice para calidades menores. La calidad de las diatomitas de Ayacucho, se encuentran entre 65 % y 85 % de contenido de sílice como se aprecia en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Análisis químico de diatomitas. Fuente: Díaz, A et al. (2017).

N	Cantera	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	LOI^*
1	Moya	85.50	2.13	0.21	0.75	0.29	0.19	<0.01	0.14	0.08	0.09	10.90
2	Tambillo	83.20	1.93	0.43	0.74	0.29	0.28	<0.01	0.19	0.19	0.09	12.95
3	Condoray 1	82.26	3.95	0.32	1.13	0.86	0.49	0.02	0.31	0.11	0.15	12.77
4	San Pedro de Quicato	80.04	2.37	0.27	0.75	0.26	0.16	0.07	0.15	<0.01	0.09	15.56
5	Quicapata	75.95	1.58	0.48	0.54	0.25	0.25	<0.01	0.12	0.13	0.07	21.21
6	Trancahuayco	73.06	5.67	0.40	1.22	0.56	0.33	0.02	0.21	0.02	0.20	18.19
7	Pampa Titanca	71.47	8.46	1.15	2.44	0.79	0.36	<0.01	0.67	0.02	0.37	14.07
8	Condoray 2	67.81	1.71	0.14	0.47	0.31	0.21	<0.01	0.21	0.09	0.07	27.40

Otro estudio da cuenta de la composición química de las diatomitas (Tabla 2.7).

Tabla 2.7: Análisis químico de las diatomitas de los yacimientos de Tambillo, Quicapata y La Moya. Fuente: Ramírez, JF (2012).

Yacimiento	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	LOI
Tambillo	85.78	2.71	0.64	0.01	1.22	0.39	0.55	0.01	0.25	0.02	0.14	8.29
Quicapata	89.84	2.61	1.17	-	0.97	0.48	0.53	-	0.25	-	-	4.15
La Moya	72.86	9.11	1.44	0.01	1.79	3.21	0.84	0.05	1.25	0.08	0.29	9.10

2.2.8 Tamaño de grano y distribución granulométrica

La masa cerámica para la fabricación de ladrillos está compuesta por arcilla, limos y arena, con presencia de material orgánico en menor proporción. De la calidad y proporción de estos materiales depende la calidad de los ladrillos según el tipo de moldeo (extrusión o manual) y cocción (tipo de horno).

La figura 2.3 muestra un diagrama ternario de textura del suelo donde la mejor

proporción para fabricar ladrillos se ubica en la parte central según la propuesta de la tabla 2.8.

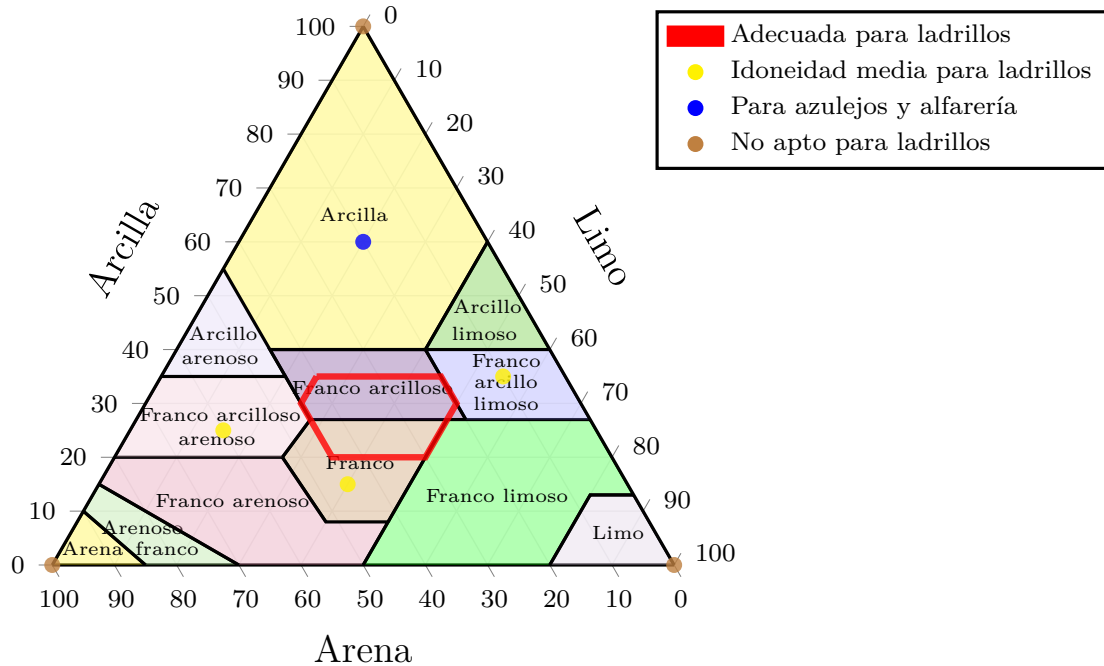


Figura 2.3: Diagrama ternario de textura del suelo basadas en el USDA (Niesper, A., 1958) y (Winkler, von HGF, 1954).

Tabla 2.8: Granulometría ideal para lograr ladrillos de buena calidad (Mueller, H. et al., 2008)

Nº	Elemento	Tamaño [mm]	Rango recomendado
1	Arcilla	Menores a 0.002	20 % – 35 %
2	Limo	0.063 – 0.002	25 % – 45 %
3	Arena	2 – 0.063	20 % – 35 %

Muestras mayores a 2mm son inadecuados y debería evitarse, sobretodo si se trata de caliza que por efecto de la reacción del óxido de calcio se produce la rotura del ladrillo por caliche (Verdusch, A., 1963).

2.2.9 Horno tipo volcán

Según el tipo de proceso, se clasifica como horno intermitente. Son de cámaras individuales donde los ladrillos quedan en posición fija durante todo el ciclo de quemado (COSUDE, 2011).

El desempeño térmico de un horno artesanal tipo volcán (figura 2.4) es ineficiente y menor en comparación a otro tipo de hornos. Pierde calor a través de las paredes

laterales y, sobretodo, por la parte superior. El ciclo de quema para este tipo de horno es de hasta dos semanas.



Figura 2.4: Horno tipo volcán.

2.2.9.1 Temperatura de los hornos artesanales

No se tiene registro de la temperatura que desarrolla un horno tipo volcán, motivo por el cual, el maestro quemador se apoya en diferentes indicadores para controlar la cocción de los ladrillos en este tipo de horno, sobretodo en el color de los ladrillos dentro de los malecones.

2.2.10 Característica y clasificación del ladrillos

Las propiedades de los ladrillos es resultado de cambios físicos, químicos y mineralógicos durante el proceso de cocción (Bhatnagar, J. & Goel, R., 2002) pero también influye mucho los procesos previos de moldeo y secado (Furlan, V, 1996). La resistencia a la compresión se ve muy afectada por la temperatura de cocción, el método de producción, las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de la materia prima. La absorción se ve afectado por las propiedades de la arcilla, el método de fabricación y el grado de cocción (Cultrone G et al., 2004).

Resistencia a la compresión: Propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar esfuerzos axiales.

Variabilidad dimensional: Diferencia con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio.

Alabeos: Medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.

Absorción: Capacidad de retener agua en su interior.

Succión: Velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.

Durabilidad: Cultrone, G. & Sebastian, E. (2003) detallan la manera de estudiar la durabilidad de los ladrillos sometiéndolos a envejecimiento acelerado. Mencionan que la porosidad y la absorción de agua son las que determinan la calidad del ladrillo para su durabilidad.

2.2.11 Proceso de fabricación de ladrillos

La fabricación artesanal de ladrillos se basa principalmente en cuatro pasos. La recolección y preparación de la materia prima (masa cerámica), el moldeado, el secado y la cocción.

Para la fabricación de ladrillos, lo que es determinante, es la proporción relativa de arena, limo y arcilla. Las arcillas ideales deben ser plásticas y fáciles de modelar y que no tengan compuestos de hierro o de azufre ni grandes inclusiones de caliza (Cultrone, G, 2001).

A continuación se detalla cada uno de estos procesos:

2.2.11.1 Selección y zaranda de la materia prima

Es la primera etapa. se recolectan y zarandan las materias primas, donde las arcillas y la tierra limosa se mezclan a criterio sin una dosificación controlada (figura 2.5a).

2.2.11.2 Moldeado

Desde hace algunos años se viene usando mezcladora tipo trompo para preparar el barro e inmediatamente elaborar los ladrillos. Esto consigue un mayor rendimiento diario (entre 1200 y 1500 ladrillos diarios) pero impide una adecuada humectación de todo el material.

El labrado del ladrillo se realiza llenando a pulso una gavera de cuatro compartimentos. En su investigación, Muñoz, P et al. (2016) mencionan que este proceso influye fuertemente en la porosidad del ladrillo y en la dispersión de resultados. para evitar que se la masa quede pegada al molde, se moja y cubre con arena fina la gavera. Usar arcillas demasiado plásticas provocan la presencia de deformaciones en el moldeo o laminaciones. (Cultrone, G, 2001).



(a) Tierra blanca y tierra roja



(b) Moldeado de ladrillos

Figura 2.5: Materia prima y moldeado de ladrillos artesanales en el distrito de Pacaycasa.

2.2.11.3 Secado

Una etapa muy importante para obtener buenos ladrillos, porque en esta etapa aparecen las fisuras (Díaz, Y, 2011). Se realiza exponiendo, en los tendales, las piezas de ladrillos al sol por dos semanas inclusive (figura 2.6a). Se debe eliminar la mayor humedad posible o explotarán en el horno. El secado implica la eliminación de agua del ladrillo húmedo tan lenta y uniformemente como sea posible. Si la piel exterior del ladrillo se seca primero, se vuelve imposible que escape la humedad del interior (Jamshidi, R. et al., 2015).

El agua que rodea a las partículas se va evaporando por lo que la distancia entre ellas se reduce y se evidencia en forma de contracción (Zea, N, 2005). Esta etapa genera merma en la fabricación de ladrillos por el desprendimiento, agrietamiento o fallo explosivo, entre otros (Mihoubi, D. et al., 2002).



(a) Ladrillos secándose en los tendales



(b) Quema de ladrillos en horno volcán

Figura 2.6: Proceso de secado y quema de ladrillos artesanales.

2.2.11.4 Cocción

Constituye la etapa más importante del proceso de fabricación del ladrillo donde se evidencia si los procesos anteriores se desarrollaron correctamente (Bustamante, W. et al., 2005).

Cuando los ladrillos son cocidos (figura 2.6b), primero el ladrillo termina de secarse y debe realizarse lentamente para evitar la formación de vapor dentro lo cual podría hacerlos estallar. El ladrillo crudo adquiere su resistencia mecánica en un proceso conocido como sintetización, el cual consiste en que los puntos de contacto de los granos adyacentes, se funden en una fase vítrea y se unen a través de ésta. Este proceso conocido como sintetización vítrea, comienza a los 800°C y continúa hasta temperaturas cercanas a los 1200°C, cuando tiene lugar la fusión y recristalización de los materiales (Karaman, S et al., 2006).

Cuando la cocción no se produce de manera regular las piezas no serán uniformes y habrán tensiones internas que debiliten el ladrillo (Rahaman, M., 2007). Los poros se van cerrando a medida que se procede la cocción por lo que el desprendimiento de gases puede dar lugar hinchamientos. Es importante que la temperatura se mantenga al nivel de semifusión durante un periodo de algunas horas, dependiendo de sus composiciones y que el enfriamiento sea lento para que las fases amorfas (no cristalinas) vitrificadas puedan acomodar deformaciones internas (Cultrone, G, 2001).

El proceso de cocción que Jamshidi, R. et al. (2015) sugiere para cocciones en hornos eléctricos a escala de laboratorio es el que se muestra en la figura 2.7.

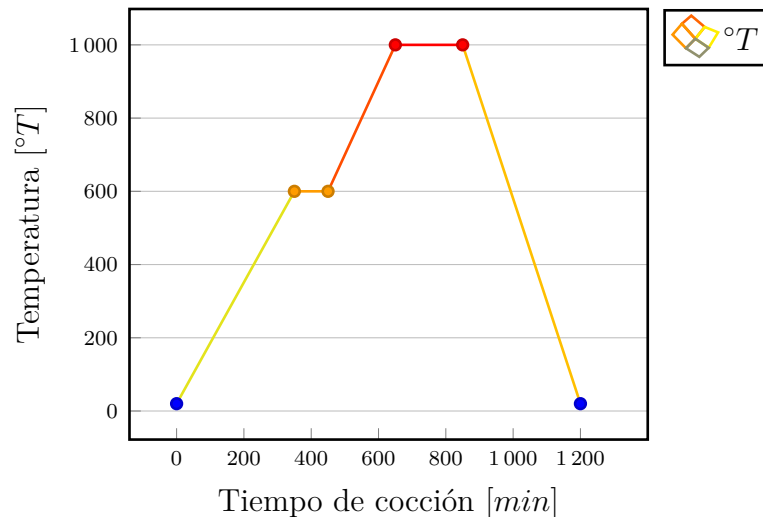


Figura 2.7: Programa utilizado en el estudio de producción de ladrillos por Jamshidi, R. et al. (2015).

2.2.12 Efecto del calor sobre los ladrillos

Durante el proceso de cocción se dan los siguientes fenómenos (Cultrone, G, 2001):

1. Entre 50 °C y 120 °C la arcilla pierde el agua de humedad. No se desarrollan reacciones químicas ni estructurales.
2. Entre 450 °C y 550 °C se da el desprendimiento del agua químicamente combinada y se va formando piezas duras y porosas. Junto a la evaporación del agua, se produce también la eliminación de eventuales compuestos orgánicos.
3. Entre 600 °C y 900 °C es estable la fase anhidra de las arcillas.
4. Por encima a los 900 °C se produce la recristalización y las piezas empieza a vitrificarse con lo que se obtiene una pieza densa. Si la temperatura sigue aumentando, se da un reblandecimiento seguido de fusión.

2.2.13 Patologías del ladrillo

Las causas internas tiene que ver la calidad y de la materia prima que se usa y su dosificación, el proceso de fabricación, el secado y la cocción que traen como consecuencia deformaciones, grietas, mala cocción o rotura por *caliche* (Cultrone, G, 2001). Otro efecto nocivo es el fenómeno de ascensión por capilaridad porque suele ir acompañado de la migración de sales a la superficie del muro por encima de la zona de humedad capilar, favoreciendo la capacidad de mantener el agua retenida (Rincón, JM & Romero, M, 2000). Además, la cristalización de sales solubles causa la desintegración de los materiales cerámicos, especialmente al cristalizar como eflorescencias (Cultrone, G, 2001).

2.2.14 Conductividad térmica

Es la cualidad de un material de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto. Su unidad es $J/(s \cdot K \cdot m)$, y se simboliza con la letra griega λ que es el coeficiente de conductividad térmica (Collieu, A., 1977).

A una temperatura baja, la transmisión se debe a la conducción, por lo tanto, cuanto más liviano (poroso) sea el material mejor será su capacidad aislante. A temperaturas altas, la transmisión de calor es por radiación y los materiales con porosidad fina son mejor aislantes. Existe un valor crítico para cada material de aislamiento térmico poroso, por debajo del cual aumentará nuevamente la conductividad térmica. Esto se debe a que los poros son lo suficientemente grandes para permitir (en su interior), una transferencia de calor por convección natural (Saldarriaga, DS, 2009).

Tabla 2.9: Conductividad térmica de materiales utilizados en las edificaciones de la región Ayacucho. Fuente: (Janampa, K et al., 2020).

N	Material	Conduc. térmica ($W/m^{\circ}C$)
1	Tecnofor	0.042 ± 0.002
2	Madera cedro	0.342 ± 0.005
3	Cemento-yeso	0.717 ± 0.010
4	Adobe	0.415 ± 0.012
5	Ladrillo	0.286 ± 0.009
6	Enlucido pared	0.583 ± 0.015
7	Pandereta (techo)	0.396 ± 0.020

2.2.15 Transferencia de calor

El aire es un mal conductor del calor, por ello, cuanto mayor sea el porcentaje de aire atrapado en los ladrillos, menor será el calor conducido a través de ellos (efecto *Knudsen*). La convección requiere aire en movimiento, esta forma de conducción disminuye si los espacios de aire son pequeños. La radiación depende de la variación de temperatura entre las superficies sólidas opuestas, mientras más pequeños son los espacios de aire, menor será la radiación (Saldarriaga, DS, 2009).

2.2.16 Inercia Térmica

Deffis, A. (1999) manifiesta que la inercia térmica del ladrillo hace referencia a la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe. Cedeño, A. (2010) complementa la idea detallando que la inercia térmica depende de la masa, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de éstos.

2.2.17 Conductividad térmica de materiales de la región Ayacucho

Los métodos para la determinación de la conductividad térmica pueden clasificarse en dos categorías amplias: transferencia de calor en estado estacionario y transitorio (Ngohe-Ekam, PS et al., 2006). Cultrone, G et al. (2020) determinaron cualitativamente la conductividad térmica de ladrillos por medio de una cámara infrarroja.

Investigadores de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga estudiaron la conductividad térmica de materiales utilizados en las edificaciones de la región Ayacucho cuyos resultados se muestran en la tabla 2.9. Para tal fin, diseñaron y fabricaron un medidor de conductividad térmica basado en la norma ASTM C177.

Capítulo III

Marco metodológico

3.1 Enfoque

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo. La naturaleza de los datos responde a características susceptibles de cuantificar ([Ríos, RR, 2017](#)).

3.2 Diseño de investigación

Para el diseño experimental del tipo aplicada, se tomó como base el modelo factorial de efectos fijos ANOVA (ANálisis Of VARiance) ([Navidi, W., 2011](#)). A las variables independientes se denomina factores (y sus diferentes estados posibles o valores se denominan niveles o tratamientos) y la variable dependiente se conoce como respuesta ([Ordaz, JA et al., 2011](#)).

La figura 3.1 muestra una representación gráfica del diseño factorial 4x3 con cinco replicas practicadas a las probetas. Para los ladrillos artesanales con adición de diatomita, el experimento fue de un factor (diatomita) y cuatro niveles (0 %, 10 %, 20 %, 30 %).

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Comprende a los ladrillos artesanales fabricados en la comunidad de Huayllapampa del distrito de Pacaycasa.

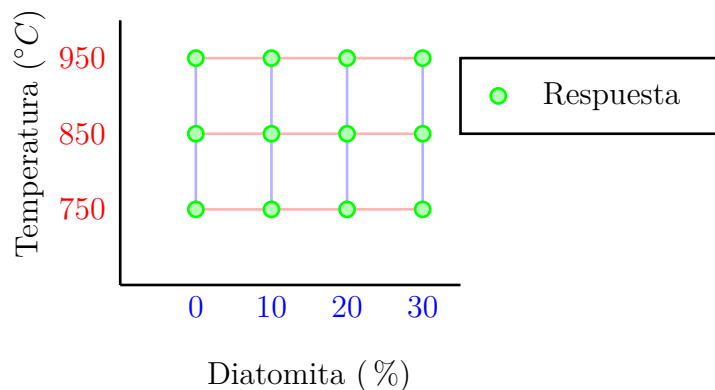


Figura 3.1: Representación del diseño factorial $4 * 3$ con dos factores.

3.3.2 Muestra

Los objetos de estudio fueron ladrillos artesanales con adición de diatomita fabricadas en la comunidad de Huayllapampa, distrito de Pacaycasa, región Ayacucho.

Se fabricaron 120 ladrillos artesanales con adición de diatomita en proporciones de 0 %, 10 %, 20 % y 30 %, 90 ladrillos artesanales sin diatomita para ser ubicados a diferentes niveles dentro del horno (Bottom, Middle, Top). En total, fueron alrededor de 210 ladrillos. Las pruebas clasificatorias y no clasificatorias se realizaron de acuerdo a la Norma NTP E.070 (2006).

Se han elaborado y estudiado 300 probetas. Equivale a decir que se hicieron cinco ensayos por cada factor y para cada uno de las pruebas: compresión, absorción, succión, de acuerdo a la norma NTP E.070 (2006) (salvo las pruebas termográficas que solo tuvieron dos repeticiones) .

3.3.3 Muestreo

El muestreo para esta investigación, al ser del tipo experimental, es no probabilístico o muestreo según criterio (Supo, J., 2014). Para los diferentes ensayos realizados a los ladrillos y las probetas, se seleccionaron aleatoriamente del total de los especímenes elaborados.

3.4 Hipótesis

3.4.1 Hipótesis general

La adición de diatomita y la variación de la temperatura, influye en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho.

3.4.2 Hipótesis específicas

1. A mayor proporción de diatomita, habrá mayores cambios en las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho.
2. Las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales sufrirán mayores cambios en la medida en que se adicione diatomita a su masa cerámica.
3. Al elevar la temperatura de cocción de los ladrillos artesanales, se modificarán sus propiedades físicas.
4. La temperatura de cocción influirá en el comportamiento mecánico de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho.

3.5 Operacionalización de variables

Para demostrar la hipótesis, se evaluará las propiedades físicas y mecánicas en función del porcentaje de adición de diatomita y la temperatura máxima de cocción de los ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho (tabla 3.1).

Tabla 3.1: Operacionalización de variables.

Variables	Tipo de variable	Indicadores	Medición	Rango
Adición de Diatomita.	Independiente	Cantidad de diatomita.	% en Volumen	0%, 10%, 20%, 30%
		Granulometría	mm	<1 mm
Variación de la temperatura de cocción.	Independiente	Temperatura máxima de cocción	°C	750°C, 850°C, 950°C.
Propiedades físicas del ladrillo artesanal.	Dependiente	Variación direccional	%	
		Alabeo	%	
		Densidad	g/cm ³	
		Absorción	%	
		Succión	g	
		Contracción	%	
		Conductividad térmica	W/(m ·K)	
Propiedades mecánicas del ladrillo artesanal.	Dependiente	Resistencia	Kg/cm ²	

3.6 Técnicas e instrumentos

El desarrollo de los ensayos se realizó de acuerdo a las pruebas estandarizadas detalladas en las Normas NTP E.070, investigaciones y recomendaciones de (Cultrone G et al., 2004), Saldarriaga, DS (2009), San Bartolomé et al. (2014), COSUDE, Lopez, P. (2011), entre otros.

Los equipos usados se detallan a continuación:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. HotPlate LabTech EG20B | 5. Balanza electrónica |
| 2. Cámara termográfica FLIR GF306 | 6. Vernier (pie de rey) |
| 3. Pirometro infrarrojo industrial
UT302D-UNI-T | 7. Estufa eléctrica. |
| 4. Maquina universal de compresión | 8. Horno eléctrico de hasta 1100 °C |

3.7 Técnicas estadísticas

Al ser una investigación aplicada cuya finalidad es mejorar algunas características del ladrillo artesanal, el análisis estadístico que se aplica es el de control de calidad con el que evaluamos el éxito de nuestra intervención. Para probar la significancia estadística de estos valores, se realizó el correspondiente análisis de varianza (ANOVA). Esta técnica fue desarrollada inicialmente por Fisher para analizar los efectos de distintas cantidades de fertilizante y su frecuencia de riego en los cultivos (Aguilar, I. et al., 2013).

Se evalúa el efecto de dos fuentes de variación (temperatura de cocción y adición de diatomita) sobre las propiedades físicas y mecánicas de las probetas y los ladrillos artesanales y su posible interacción. El experimento factorial tiene un diseño balanceado de cinco réplicas y una significancia de 0.05.

Para evaluar los ladrillos, se diseñó un experimento con un factor (adición de diatomitas) de cuatro niveles (0 %, 10 %, 20 %, 30 %) y de cinco réplicas cada uno. La evaluación de las probetas es con dos factores: la temperatura de cocción con tres niveles (750 °C, 850 °C, 950 °C) y la de adición de diatomita a la masa cerámica con cuatro niveles (0 %, 10 %, 20 %, 30 %).

3.8 Desarrollo del trabajo de tesis

3.8.1 Ubicación de la investigación

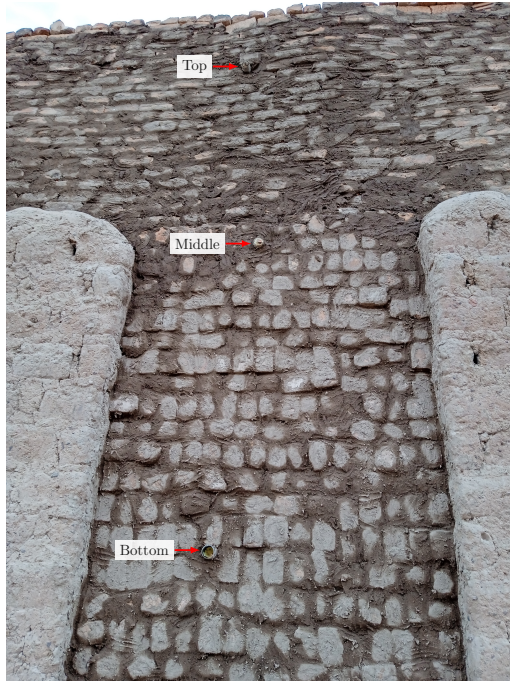
Se realizó en la ladrillera del Sr. Máximo Pino que se ubica en la comunidad de Huayllapampa, distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga.

La tierra utilizada proviene de canteras de la misma comunidad y tierra roja de Trigopampa. La tierra diatomita proviene de la cantera Moya en el distrito de Quinua.

3.8.2 Caracterización térmica del horno tipo volcán

Para conocer el perfil térmico que desarrolla el horno tipo volcán, en una de sus caras laterales, se habilitó tres ventanas con tubos de acero negro de 3" de diámetro

a diferentes alturas respecto del nivel del suelo (2 m, 3.5 m, 5 m) (figura 3.2a) por donde se midió cada treinta minutos la temperatura del horno con un pirómetro infrarrojo industrial modelo UT302D UNI-T (figura 3.3a).



(a) Ventanas para medir la temperatura del horno.



(b) Lectura de temperatura: Middle.

Figura 3.2: Medición de la temperatura del horno tipo volcán

La temperatura dentro de los malecones supera los $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ pues es la zona donde se desarrolla la quema de troncos de eucalipto. Por esta razón, para determinar la temperatura en este lugar, se optó por el uso de conos pirométricos N° 7 marca Orton los cuales se colocaron entre los ladrillos que formaban el malecón del horno (figura 3.4).

Luego de 40 horas de iniciada la quema, se cerró el horno, es decir, se dejó de alimentar el fuego con troncos de leña. Esta decisión, la determinó el maestro quemados con base en su experiencia y diversos criterios; el más importante es que los ladrillos de la parte superior del horno, hayan descendido una altura uniformemente (figura 3.5). De existir algún desnivel, se refuerza la quema en esa zona puntual.

Si, luego de la quema, en la parte superior del horno existen zonas cóncavas o convexas, significa que la quema no fue uniforme y habrá ladrillos crudos o recocidos. Si los ladrillos de la parte superior del horno han descendido mucho significa que la quema fue excesiva (ladrillos recochados), si descendió poco es indicativo de que los ladrillos no alcanzaron la cocción adecuada.



(a) Pirómetro industrial UT302D UNI-T



(b) Lectura de temperatura: Top.

Figura 3.3: Control térmico de un horno tipo volcán con pirómetro.



(a) Cono pirometrico antes de la quema.



(b) Cono pirometrico luego de la quema.

Figura 3.4: Conos pirométricos colocados dentro del malecón.



(a) Antes de la quema: techo del horno nivelado.



(b) Después de la quema: descenso uniforme de una altura.

Figura 3.5: Parte superior de horno tipo volcán.

3.8.3 Caracterización de la materia prima

Se realizaron ensayos de granulometría a la tierra preparada para determinar las proporciones de gravas, arena, limos y finos. Las cualidades de la diatomita como su área superficial le confieren una elevada plasticidad lo cual hace que las pastas absorban mayor cantidad de agua para formar una masa plástica manejable.

3.8.4 Fabricación de ladrillos y probetas

En la tabla 3.2 se justifica la cantidad de ladrillos por cada dosificación y la manera en que están codificados. Se procuró intervenir lo menos posible en los procesos que involucran la fabricación del ladrillo artesanal.

Tabla 3.2: Cantidad de ladrillos fabricados y codificación de acuerdo a su ubicación y porcentaje de diatomita.

Diatomita (%) / Ubicac.	0	10	20	30	Bottom	Middle	Top
Codificación	L-D0- <i>i</i>	L-D10- <i>i</i>	L-D20- <i>i</i>	L-D30- <i>i</i>	L-B- <i>i</i>	L-M- <i>i</i>	L-T- <i>i</i>
Total ladrillos	30	30	30	30	30	30	30

Por las dimensiones del horno eléctrico y tomando como base los estudios de Cultro-ne, la medida de las probetas cúbicas fue de 1.5” de arista. Las cantidades fabricadas y la codificación para cada probeta, dependiendo de su dosificación y temperatura máxima de cocción, fue como se detalla en las tablas 3.3 y 3.4. En total se elaboraron 75 probetas de cada dosificación (300 probetas en total).

Las probetas que se han fabricado a escala de laboratorio y cocidas a diferentes temperaturas han servido para establecer las similitudes con los ladrillos artesanales que se fabricaron y relacionar la tendencia y entender mejor la influencia que tiene,

Tabla 3.3: Cantidad de probetas fabricadas por cada arreglo factorial

Diatomita (%)	0	10	20	30	Total
750	25	25	25	25	100
T° de cocción (°C)	850	25	25	25	100
	950	25	25	25	100
Total	75	75	75	75	300

Tabla 3.4: Probetas codificadas por su contenido de diatomita y su T de cocción.

Diatomita (%)	0	10	20	30
750	P-D0-750- <i>i</i>	P-D10-750- <i>i</i>	P-D20-750- <i>i</i>	P-D30-750- <i>i</i>
T° de cocción (°C)	850	P-D0-850- <i>i</i>	P-D10-850- <i>i</i>	P-D20-850- <i>i</i>
	950	P-D0-950- <i>i</i>	P-D10-950- <i>i</i>	P-D20-950- <i>i</i>

en el producto final, las diferentes temperaturas de cocción.

3.8.4.1 Mezcla, amasado y moldeado de ladrillos

La tierra preparada (tamizada y mezclada con arcilla roja) y la diatomita se cargan a la mezcladora tipo trompo (figura 3.6b) en porcentajes de volumen que se detalla en la tabla 3.5 y una cantidad de agua a criterio y experiencia del maestro labrador.

Tabla 3.5: Dosificación de materia prima en porcentaje de volumen que se cargan a la mezcladora.

		Código			
Material	Und.	L-D0	L-D10	L-D20	L-D30
Tierra	Palas	40	36	32	28
Diatomita	Palas	0	4	8	12
Total	Palas	40	40	40	40

Los tres materiales (tierra preparada, diatomita, agua) se mezclan en el trompo entre 3 y 5 minutos, se descarga al piso y se empieza a labrar los ladrillos usando para esto las gaveras previamente embadurnadas con arena fina para que la mezcla no quede pegada al molde. De cada trompo, salieron al rededor de 40 ladrillos.

3.8.4.2 Mezcla, amasado y moldeado de probetas

Para elaborar las probetas, se usó un molde cúbico de 1.5" de arista. Se usó la misma materia prima con el que se fabricaron los ladrillos. El tamaño de grano se redujo a todo aquel que pase el tamiz N° 10 debido a que diámetros más grandes a 2 mm ocasionarían rajaduras o explosiones en la probeta durante la cocción en el horno eléctrico.

El tamaño de grano de la diatomita fue menor a 1 mm. El barro se dejó dormir



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.6: (a) Materia prima. (b) Amasado. (c) Moldeado. (d) Secado.

durante una noche para una completa hidratación (figura 3.7). La dosificación de las probetas fue de 0%, 10%, 20% y 30% en volumen, al igual que se hiciera para los ladrillos.



(a) Barro con distintas dosificaciones de diatomita.



(b) Probetas de diferentes dosificaciones

Figura 3.7: Fabricación de probetas cúbicas de arcilla y diatomita.

3.8.5 Secado de ladrillos

Los ladrillos se secaron a cielo abierto en los tendales de la ladrillera por un día y luego se les acomoda en rumas donde continúa su proceso de secado (figura 3.8).



Figura 3.8: Secado de ladrillos al aire libre.

3.8.5.1 Contenido de humedad e índice de secado de ladrillos crudos

Se realizó el control de peso tres a cuatro veces por día para determinar, la humedad inicial, el índice de secado y el peso seco de 25 ladrillos crudos, es decir, cinco ladrillos de cada dosificación de 0%, 10%, 20% y 30% (figura 3.9).

El proceso de secado se prolongó por dos semanas aunque el tiempo varía de acuerdo



(a) Peso de ladrillo húmedo sobre una tara.



(b) Peso del ladrillo semiseco sin tara.

Figura 3.9: Control de peso de ladrillos húmedos durante secado.

a las condiciones climáticas. En algunos casos y para completar, se suele colocar ladrillos que aún no han secado completamente en la parte superior del horno (Top). Estos ladrillos aprovechan el calor de las primeras horas de quema para secarse completamente.

3.8.6 Contracción de secado y de cocción

Se hizo el control de la contracción con las diferentes dosificaciones (0 %, 10 %, 20 %, 30 %,) para determinar la influencia que tiene la adición de diatomita en la contracción por secado y cocción de los ladrillos.

Para medir la contracción de secado, en la cara superior de las probetas de 10cm x 5 cm x 1 cm, se realizan con dos muescas separadas 10 cm (figura 3.10). Se midió y se calculó el porcentaje de contracción al secarse y luego de la cocción.

3.8.7 Cocción

3.8.7.1 Cocción del ladrillo

Inicia con el traslado del ladrillo crudo desde las rumas donde estuvieron secándose hasta el horno que, en este caso, era de una capacidad de 53 millares (figura 3.11).

El maestro armador se encarga de colocar adecuadamente los ladrillos dentro del horno, cuidando de que no queden muy juntos lo que evitaría que el calor circule ni muy separados lo que provocaría que el malecón o alguna parte del horno colapsen por efecto de su propio peso (figura 3.12a). Simultáneamente, el maestro carbonero distribuye uniformemente cada dos alturas de ladrillos el carbón mineral que reforzará el proceso de quema e incrementa la temperatura de cocción.

La figura 3.12b muestra la manera estratégica en que se ubicaron los ladrillos con

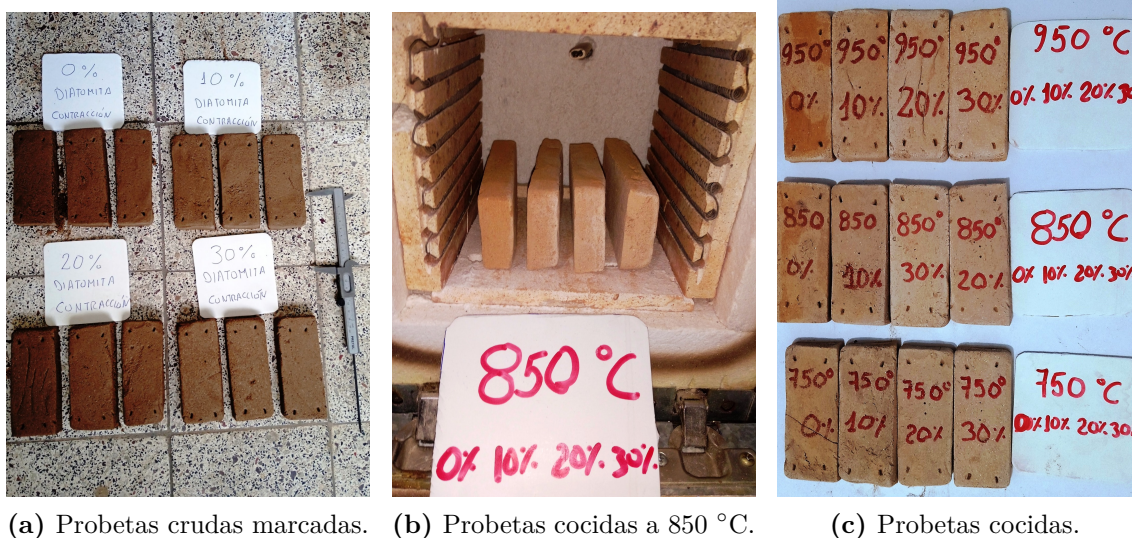


Figura 3.10: Probetas para ensayo de contracción por secado y cocción.



Figura 3.11: Traslado de ladrillos crudos al horno.

adición de diatomita dentro del horno para que sean ubicados fácilmente luego de la cocción. Otros tres grupos de ladrillos fueron ubicados en el primer nivel del horno (Bottom), a la mitad (Middle) y en la parte superior (Top).

La quema se realizó con troncos secos de eucalipto e inició a las 20:00h de un viernes hasta las 12 del día del domingo. El maestro quemador y su ayudante alimentaban los malecones con leña a intervalos regulares de acuerdo a su experiencia, cuidando que la temperatura sea la apropiada para no tener ladrillos crudos o recochos (figura 3.13).

Fueron 40 horas de quema ininterrumpida donde el maestro quemador se guiaba por el color de la incandescencia de los ladrillos para decidir la cantidad y tamaño de leña para controlar la temperatura.



(a) Llenado del horno y colocación de carbón.



(b) Ladrillos con adición de diatomita ubicados entre Middle y Top.

Figura 3.12: Distribución de ladrillos crudos dentro del horno.



(a)



(b) Maestro quemador verificando la parte superior de horno.

Figura 3.13: Proceso de quema de un horno tipo volcán.

3.8.7.2 Cocción de probetas

Se diseñó un programa donde la temperatura dentro del horno sube progresivamente, con mesetas para estabilizar las probetas y no exploten permitiendo su cocción completa y uniforme. La tabla 3.6 detalla el programa que se siguió para la cocción de las quemas a 750 °C, 850 °C y 950 °C. Para mejor claridad, se muestra en la figura 3.14 el programa de quema de las probetas hasta una temperatura máxima de 950 °C.

Tabla 3.6: Programa de cocción para probetas

Temperatura °C	Cocción a 750 °C	Cocción a 850 °C	Cocción a 950 °C
	Tiempo Acumulado (min)		
20	0	0	0
100	15	15	15
100	75	75	75
300	105	105	105
750	240	-	-
750	300	-	-
850	-	270	-
850	-	330	-
950	-	-	300
950	-	-	360
20	884	994	1104
Total (h)	14.7	16.6	18.4

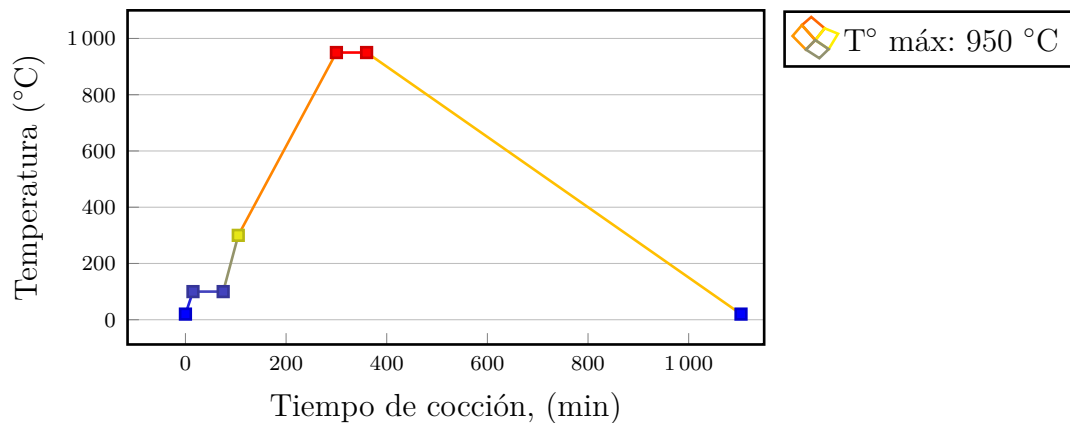


Figura 3.14: Programa de cocción de las probetas en un horno eléctrico.

Para la cocción a diferentes temperaturas de las probetas, se utilizó un horno eléctrico con pirómetro para controlar la temperatura. Se realizaron tres quemas con temperaturas máxima de 750 °C, 850 °C y 950 °C (figuras 3.15, 3.16 y 3.17). El descenso de la temperatura fue gradual para evitar choques térmicos y las probetas se rajen.



Figura 3.15: Cocción de probetas a 750 C.



Figura 3.16: Cocción de probetas a 850 C.

3.8.8 Prueba de Resistencia a la compresión

3.8.8.1 Resistencia a compresión axial de ladrillos

Es una de las pruebas clasificatorias que se realizan a las unidades de albañilería de acuerdo a las indicaciones de la Norma NTP 399.613 y 399.604. En lugar de aplicar capping sobre sus superficies de asiento, se usaron almohadillas adecuadas para este tipo de ensayo. Cada espécimen seco se midió antes de la rotura.

Se ensayaron 7 grupos que hacen un total 35 ladrillos artesanales (figuras 3.19) cuidando que la carga axial baje a una velocidad constante de 1.2 mm/min. La resistencia del ladrillo (f_b) se obtuvo dividiendo el área de asiento entre la carga máxima aplicada. La resistencia característica a compresión axial (f'_b) se obtiene restando la desviación estandar al promedio de f_b .



(a) Antes: Probetas crudas (b) Después: Probetas cocidas (c) Pirómetro.

Figura 3.17: Cocción de probetas a 950 C.

3.8.8.2 Resistencia a compresión axial de probetas

Se ensayaron 60 probetas cúbicas de 1.5” de arista siguiendo el mismo procedimiento diseñado para el ladrillo. Se midió y pesó cada probeta con un pie de rey y una balanza digital de precisión 0.1 g (figura 3.19a). La figura 3.19b muestra la probetas n° 19 cocida a 850 °C y con 10% de adición de diatomita luego de ser ensayada.

3.8.9 Variación dimensional de ladrillos artesanales

Se seleccionó aleatoriamente cinco ladrillos de cada grupo. Se limpió la superficie de los ladrillos de partículas sueltas y se midió su largo (L), ancho (A) y altura (H) (figura 3.20a) de acuerdo a las Normas NTP 399.613 y 399.604. Se expresa en porcentaje en función de la medida nominal.

3.8.10 Alabeo de ladrillos artesanales

Se siguió el proceso indicado en la Norma NTP 399.613. Con una cuña graduada, se midió la concavidad y convexidad de las caras de asiento de cada ladrillo (figura 3.20b)..

3.8.10.1 Variación dimensional y alabeo en probetas

Las probetas no mostraron mayor dispersión debido a que fueron fabricadas en un ambiente controlado y usando un único molde.



(a) Muestras de ladrillos artesanales.



(b) Unidad de albañilería luego del ensayo a compresión.

Figura 3.18: Ensayo de resistencia a compresión axial de unidades de albañilería.



(a) Control de pesos medidas de la probeta.



(b) Probeta luego de ser sometida al ensayo de rotura.

Figura 3.19: Ensayo de resistencia a compresión axial de probetas con adición de diatoma.



(a) Medida de los lados del ladrillo artesanal.



(b) Medida de alabeo.

Figura 3.20: Ensayo de variación dimensional y alabeo de ladrillos artesanales.

3.8.11 Resistencia a compresión axial de pilas

Esta prueba se desarrolló de acuerdo a las NTP 399.605 y 399.621. Los ladrillos seleccionados aleatoriamente se mojaron un día antes. Se fabricaron tres pilas por cada dosificación de 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de adición de diatomita (figura 3.21a) con juntas de mortero de 1.5cm a 2.0 cm de espesor y dosificación cemento:area de 1:4 (tres ladrillos por cada pila).

Las pilas se ensayaron luego de 14 días por lo que se tiene que incrementar un factor de corrección de 1.10. También se realizó la corrección por esbeltez. Todo esto, de acuerdo a la Norma E.070.

La resistencia de las pilas a compresión axial (f_m) se obtuvo dividiendo el área de contacto entre la carga máxima aplicada. La resistencia característica de la pila (f'_m) resulta de restarle la desviación estándar al promedio de f_m .

3.8.12 Medida de la absorción

3.8.12.1 Prueba de absorción de ladrillos

Se ensayaron de acuerdo a las Normas NTP 399.604 y 399.1613. Para tal fin, 35 ladrillos seleccionados de manera aleatoria se pesaron completamente secos para luego sumergirlos en agua por 24 horas (figura 3.22a). Se midió el aumento del peso (figura 3.23b) secando, previamente, la superficie del ladrillo con un paño húmedo.

El porcentaje de absorción se obtuvo dividiendo el incremento del peso entre el peso seco. De acuerdo a la Norma E.070 la absorción tolerada es de 22 %.



(a) Pilas de ladrillos.



(b) Pila en el equipo de ensayo.

Figura 3.21: Elaboración y rotura de pilas de albañilería.



(a) ladrillos medidos, pesados y sumergidos en agua.

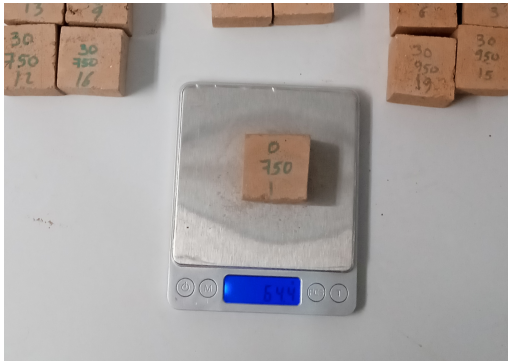


(b) Control de peso húmedo del ladrillo.

Figura 3.22: Ensayo de absorción de ladrillos con adición de diatomita.

3.8.12.2 Medida de la absorción de probetas

Similar al ensayo de absorción realizado a los ladrillos. Se determinó el porcentaje de agua que absorbió cada probeta luego de haber estado 24 hora completamente sumergidas en agua (figura 3.23).



(a) Control de peso de probetas secas.



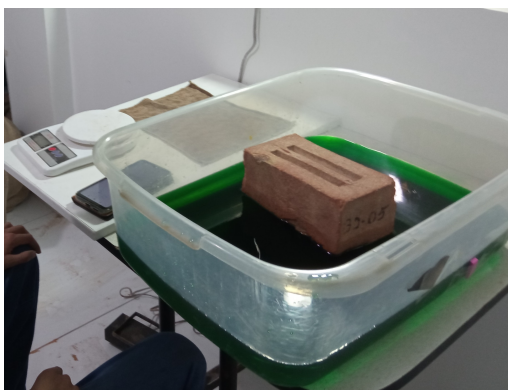
(b) Probetas sumergidas en agua por 24 h..

Figura 3.23: Ensayo de absorción de probetas con adición de diatomita.

3.8.13 Medida de la succión

3.8.13.1 Prueba de succión de ladrillo

Para este ensayo, se siguen las indicaciones de la norma NTP E.070. Primero, se pesan los especímenes completamente secos, una de sus caras se pone en contacto con la superficie de agua de nivel constante (3mm de profundidad) durante un minuto, se seca con un paño húmedo y se pesa.



(a) Prueba de succión del ladrillo.



(b) Ladrillos luego de la prueba de succión.

Figura 3.24: Prueba de succión a ladrillos con adición de diatomita.

3.8.13.2 Prueba de la succión de probetas

Las probetas fueron secadas a 110 °C hasta obtener un peso constante, se midió sus caras de contacto con el agua. Las probetas estuvieron sumergidas parcialmente 3 mm de profundidad que se mantuvo constante durante el ensayo (figura 3.25a). Se secó superficialmente con un paño húmedo y se pesó.

Las figura 3.25b muestra a las probetas luego de ser ensayadas a succión (de abajo hacia arriba: 750 °C, 850 °C, 950 °C).



(a) Probeta sumergida 3mm en agua.



(b) Ladrillos luego de pa prueba de succión.

Figura 3.25: Prueba de succión a ladrillos con adición de diatomita.

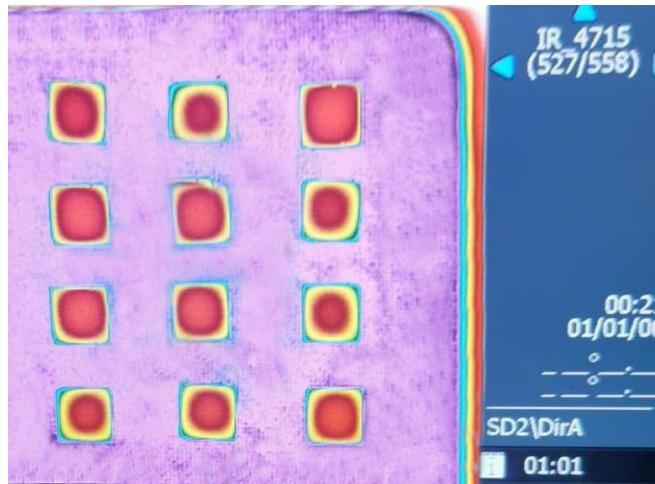
3.8.14 Ensayo termográfico a probetas con adición de diatomita

Para el propósito de esta tesis, se eligió la configuración experimental adoptada por [García L, G. et al. \(2010\)](#); [Cultrone, G \(2001\)](#). Las probetas se colocan sobre una placa de cocción (*hot plate*) que se le estabiliza a 50 °C. Se mide la temperatura cada 20 segundos desde una distancia perpendicular de 1.5m (figura 3.26b) para lo cual se usó una cámara de imagen óptica de gas FLIR GF306 (figura 3.26a).

Pasado los quince minutos, las capturas termográficas ya no son adecuadas porque la cara superior de la probeta empieza a igualar la temperatura del *hot plate*.



(a) Cámara FLIR GF306 apuntando a las probetas.



(b) Pantalla de la cámara durante prueba termográfica.

Figura 3.26: flujo térmico a través de las probetas.

Capítulo IV

Resultados y discusiones

4.1 Caracterización térmica del horno tipo volcán

A partir de los datos obtenidos con el pirómetro, se confeccionó el perfil de temperaturas que desarrolló el horno tipo volcán (figura 4.1). La zona Bottom ($z=2\text{m}$) alcanzó su temperatura máxima de $961\text{ }^\circ\text{C}$ luego de más de 30 h de quema. La zona Top del horno ($z=5\text{m}$) alcanzó una temperatura máxima 4 horas después.

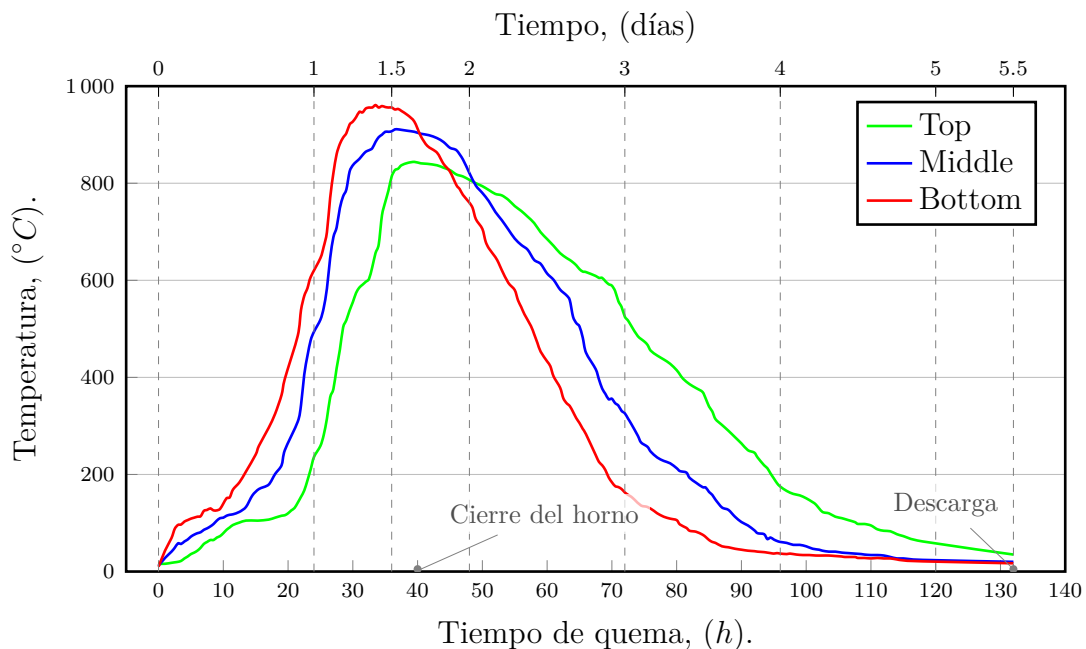


Figura 4.1: Perfil térmico del horno tipo volcán durante la quema.

El horno empieza a enfriar de abajo hacia arriba por lo que el nivel superior del horno (Top) tardó más en enfriar después de terminada la quema.

A partir de la deformación que sufrió el cono pirométricos Orton N° 7, podemos inferir que la zona del malecón alcanzó una temperatura máxima aproximada de 1120 °C. Esto requiere mayores pruebas porque es probable que la velocidad de calentamiento, el tiempo de exposición y la atmósfera dentro del horno hayan modificado las propiedades del cono. No obstante, podemos asegurar que la temperatura en el malecón superan los 1050 °C. Inclusive una botella de vidrio común cuya temperatura de fusión es de 1040 °C se fundió rápidamente. La tabla 4.1 muestra las temperaturas máximas alcanzadas en cada nivel del horno y el tiempo que tardaron desde el inicio de la quema.

Tabla 4.1: Temperaturas máxima del horno tipo volcán..

N°	Ubicación	Cota (m)	Tiempo (h)	T° máx. (°C)
1	Bottom	2.00	33.5	961
2	Middle	3.50	36.5	911
3	Top	5.00	39.5	844

El horno alcanzó temperaturas altas suficientes para la sintetización de la masa cerámica. Los ladrillos Lark, por ejemplo, se elaboran a 960 °C. Esto la hace efectiva aunque no eficiente para la quema de ladrillos. No es eficiente porque consume mucho combustible (leña), no logra homogeneidad en las características de los ladrillos, la quema se prolonga por varios días, existe mucho gradiente térmico, la carga y descarga del horno incrementa el gasto, la salud del carbonero y el maestro quemador se ven afectados por el polvo, humo, calor, entre otros.

Si se trabaja con temperaturas mayores en este tipo de hornos, se corre el riesgo de obtener ladrillos opacos y reducidos (mayor variación dimensional) o que los ladrillos terminen fundiéndose. En el primer caso, el comprador no acepta o pide un menor precio aunque los ladrillos tengan mejores propiedades ingenieriles; en el segundo caso, la pérdida por vitrificación (recochos) es considerable y, en algunos casos, total.

Las figura 4.2 tomadas al interior de un horno eléctrico da una idea aproximada de cómo el maestro quemador se orienta con el color de incandescencia que adquiere el ladrillo durante la quema. Las capturas son referenciales dado que la cámara del celular generó distorsiones al color real de incandescencia.

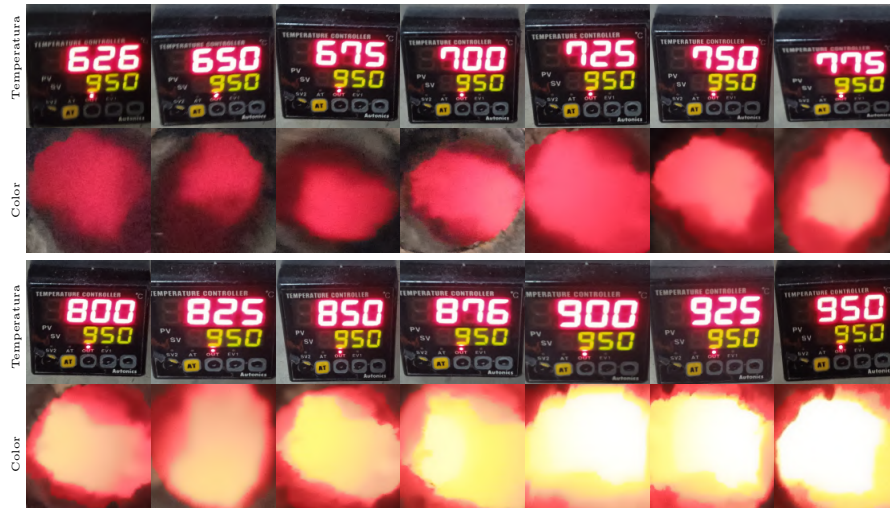


Figura 4.2: Color de la incandescencia del ladrillo según su temperatura.

4.2 Caracterización mecánica la materia prima

De acuerdo a la clasificación SUCS se trata de un suelo SC (arena arcillosa), de acuerdo al AASHTO es A4.

4.2.1 Granulometría

La materia prima está compuesto por grava 7.20 %, arena 45.6 %, finos 47.4 % (figura 4.3).

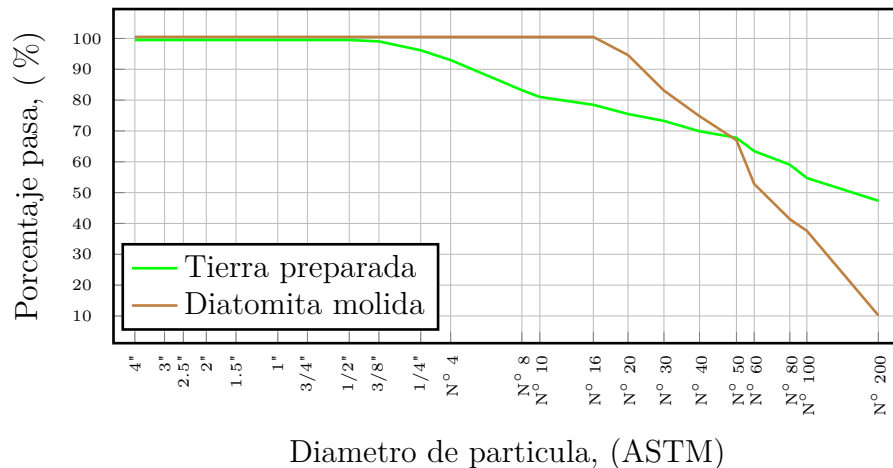


Figura 4.3: Granulometría de la tierra preparada para ladrillos artesanales y de la diatomita molida.

Tabla 4.2: Granulometría de la tierra preparada y de la diatomita molida.

Tamiz ASTM	0.5	0.375	0.25	N4	N8	N10	N16	N20	N30	N40	N50	N60	N80	N100	N200	Fondo
Abertua (mm)	12.7	9.53	6.35	4.75	2.38	2.00	1.19	0.85	0.60	0.43	0.30	0.25	0.18	0.15	0.08	
Tierra																
Acum Reten. (%)	0	0.46	3.84	7.02	16.77	18.99	21.52	24.5	26.75	30.1	32.21	36.54	40.95	45.26	52.64	100
Acum. pasa (%)	100	99.54	96.16	92.98	83.23	81.01	78.48	75.5	73.25	69.9	67.79	63.46	59.05	54.74	47.36	0
Diatomita																
Acum Reten. (%)	0	0	0	0	0	0	0	5.4	16.9	25.2	33	47.2	58.6	62.4	89.8	100
Acum. pasa (%)	100	100	100	100	100	100	100	94.6	83.1	74.8	67	52.8	41.4	37.6	10.2	0

4.3 Índice de secado de ladrillos crudos

Las primeras horas, los ladrillos perdieron rápidamente el agua añadida mecánicamente (figura 4.4). No dejar dormir la mezcla por una noche que evita que grumos de tierra se hidraten adecuadamente y la presencia de grava mayores a 5 mm provocaron la aparición de grietas por efecto de la contracción dispareja en dos ladrillos con 0% de diatomita (figura 4.5a) y en un ladrillo con 10% de diatomita (figura 4.5b).

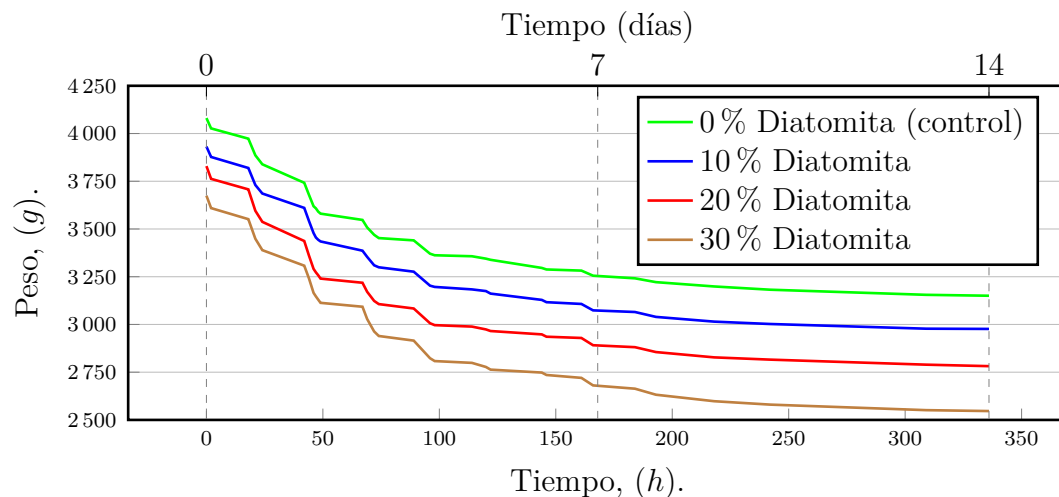


Figura 4.4: Índice de secado de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

Para reducir la aparición de estas grietas, el maestro labrador cubre los ladrillos con plástico el primer día si hace mucho calor para un secado lento. Esta medida no sería suficiente para evitar la aparición de microfisuras que reducirían su resistencia. o, en el peor de los casos, harían explotar el ladrillo durante la quema.

El hecho de que solo un ladrillo con adición de diatomita haya presentado grietas visibles, aun cuando se requirió más agua para la mezcla, evidencia que las diatomitas propician un mejor proceso de secado y contracción. Su calidad porosa lo que permitió que el agua del interior del ladrillo pueda evaporarse con relativa facilidad.

La figura 4.6 muestra que, si bien los ladrillos que contenían mayor cantidad de diatomita iniciaron con un mayor contenido de agua y, aun así, menor peso inicial, llegó



(a) Ladrillo con 0 % de diatomita.

(b) Ladrillo con 10 % de diatomita.

Figura 4.5: Presencia de grietas durante secado del ladrillo.

a secarse completamente a los 14 días. Inclusive, al noveno día ya había alcanzado al porcentaje de humedad de los ladrillos sin adición de diatomita.

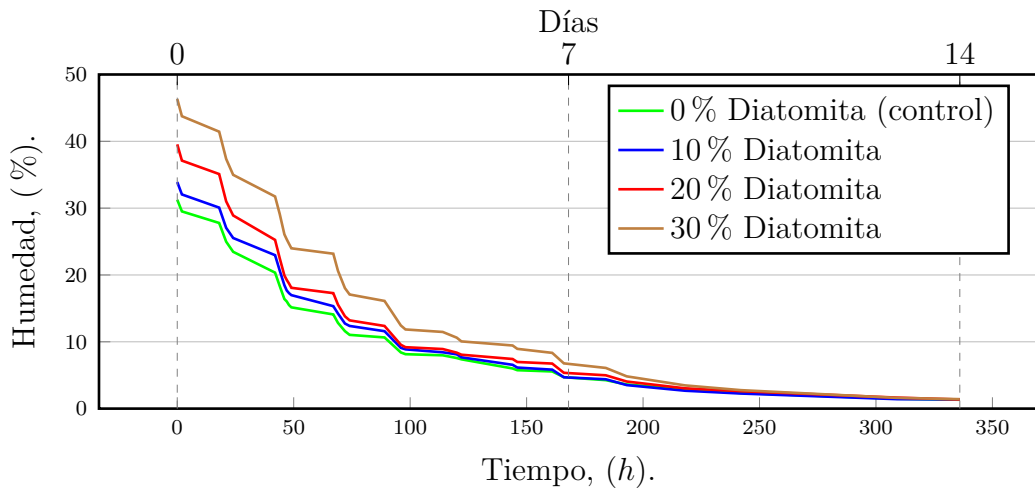


Figura 4.6: Humedad de ladrillos artesanales con adición de diatomita durante secado.

La tabla 4.3 muestra que los ladrillos crudos con adición de diatomita son hasta 600 g más livianos que los ladrillos que no incorporan diatomita lo que reduce el esfuerzo de los trabajadores para manipularlos.

Tabla 4.3: Porcentaje de humedad en ladrillos crudos con adición de diatomita.

Cod.	% de diatom.	Peso inicial húmedo (g)	Peso seco final (g)	Humedad Inicial (%)
L-D0	0	4081.0 ± 1.5	3150.4 ± 2.1	29.5 ± 0.1
L-D10	10	3931.8 ± 4.1	2976.6 ± 7.3	31.1 ± 0.5
L-D20	20	3829.4 ± 1.7	2781.6 ± 1.9	37.7 ± 0.2
L-D30	30	3674.6 ± 0.9	2546.4 ± 1.2	44.3 ± 0.1

4.4 Peso de probetas crudas

La cantidad de agua para fabricar las probetas fue similar a la que se usó en los ladrillos. Una vez secas, las probetas con adición de diatomita, pesaban hasta un 15 % menos que las probetas sin adición de diatomita 4.4.

Tabla 4.4: Peso de probetas crudas con adición de diatomita

Cód.	P-D0	P-D10	P-D20	P-D30
Diatomita (%)	0	10	20	30
Humedad (%)	29.86	33.55	36.57	41.09
Peso seco(g)	74.08 ± 0.15	70.34 ± 0.11	67.02 ± 0.09	63.17 ± 0.06

La figura 4.7 muestra la tendencia del peso de los ladrillos y las probetas crudas a medida que aumenta su contenido de diatomita. Las rectas no son paralelas debido a que, en la elaboración de las probetas, se trabajó con un porcentaje ligeramente distinto de humedad, menor granulometría y la masa durmió por una noche.

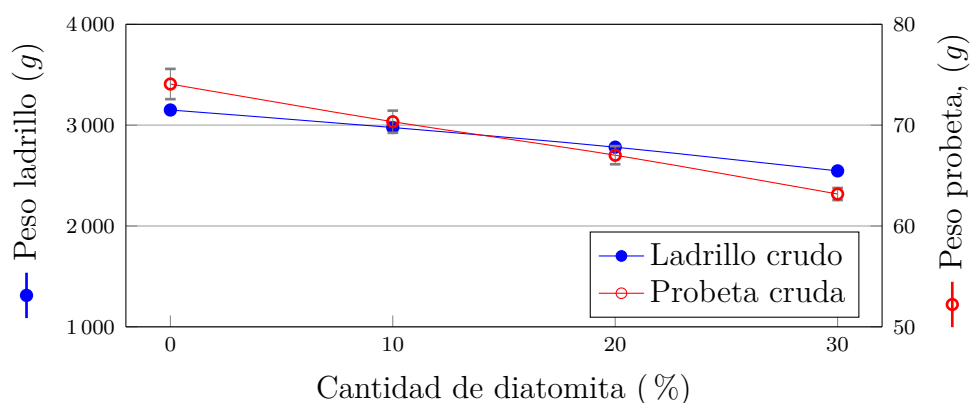


Figura 4.7: Peso seco de ladrillos y probetas crudas con adición de diatomita.

4.5 Contracción por secado y de cocción

La tabla 4.5 muestra que los porcentajes de contracción para cada dosificación y a distinta temperatura está dentro del rango que Mueller, H. et al. (2008) recomiendan (mayor a 4 % y menor a 10 %).

Tabla 4.5: Contracción de la masa cerámica por secado y por cocción.

Cód.	P-D0	P-D10	P-D20	P-D30
% de diatomita (%)	0	10	20	30
Contracción por secado (%)	5.7	5.6	5.4	4.7
Contracción total a 950 °C (%)	6.7	6.5	6.2	6.3
Contracción total a 850 °C (%)	5.8	5.8	5.9	5.7
Contracción total a 750 °C (%)	5.3	5.7	5.8	5.1

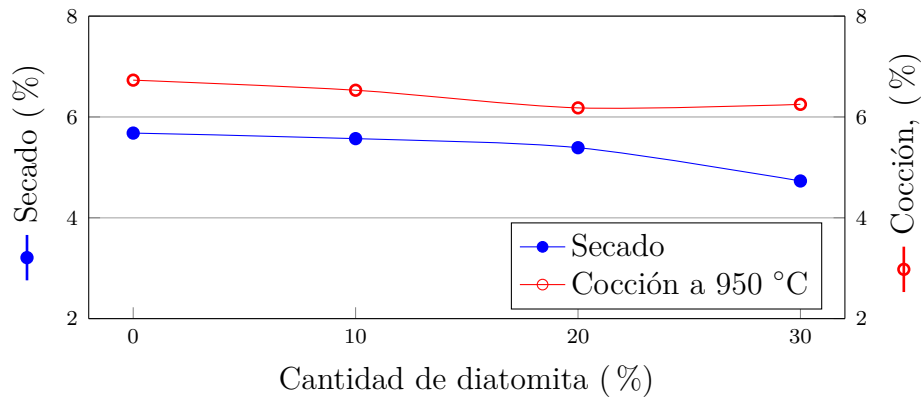


Figura 4.8: Contracción por secado y cocción de la masa cerámica.

4.6 Peso de Ladrillos cocidos

A medida que se adiciona más diatomita, el peso del ladrillo cocido tiende a bajar proporcionalmente (figura 4.9). El peso del ladrillo con 30% de diatomita fue 500 g menor al ladrillo de control que no tiene diatomita, es decir, el peso se redujo en casi 20% (tabla 4.6).

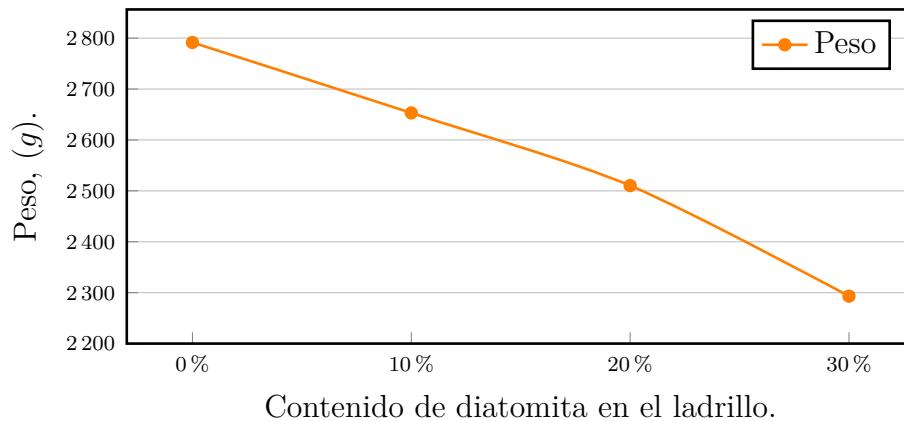
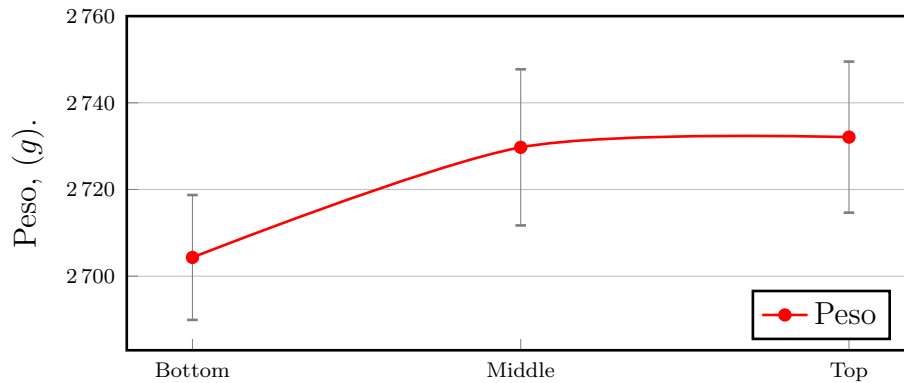


Figura 4.9: Peso de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

Tabla 4.6: Peso de ladrillos con adición de diatomita

Cód.	L-D0	L-D10	L-D20	L-D30
Diatomita (%)	0	10	20	30
Peso (g)	2791.5 ± 5.2	2653.1 ± 5.1	2510.3 ± 5.7	2293.2 ± 6.1

No existe una diferencia considerable entre el peso de los ladrillos que fueron ubicados a distinto nivel del horno (tabla 4.7).



Ubicación del ladrillo en el horno.

Figura 4.10: Peso ladrillos artesanales según su ubicación en el horno.

Tabla 4.7: Peso ladrillos artesanales según su ubicación en el horno.

Cód.	Peso (g)
L-Bottom	2704.3 ± 14.4
L-Middle	2729.7 ± 18.0
L-Top	2732.1 ± 17.4

El estadístico ANOVA, demuestra una influencia directa del porcentaje de adición de diatomita sobre el peso del ladrillo artesanal por lo que se acepta la hipótesis H_1 (tabla 4.8a). No existe una relación significativa entre el peso del ladrillo y su ubicación en el horno (tabla 4.8b) .

Tabla 4.8: Análisis de varianza del peso de los ladrillos

(a) Por adición de diatomita.				(b) Por ubicación en el horno.			
Fuente	Contribución	Valor F	Valor p	Fuente	Contrib.	Valor F	Valor p
Diatomita	98.01 %	591.600	0.000	Ubicación	2.75 %	0.380	0.686
Error	1.99 %			Error	97.25 %		
Total	100.00 %			Total	100.00 %		

4.7 Peso de probetas cocidas

Similar a los ladrillos, el peso de las probetas disminuyó a medida que aumentaba el porcentaje de diatomita (figura 4.11).

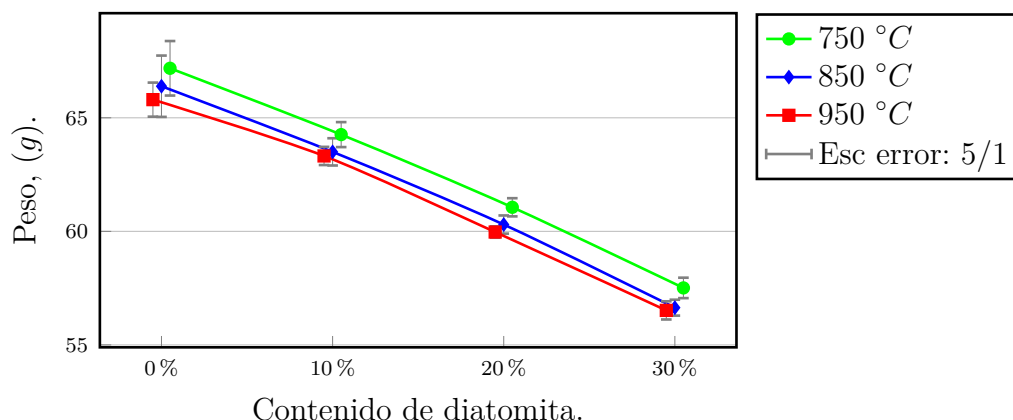


Figura 4.11: Peso de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.

El peso de las probetas cocidas a 850 °C y a 950 °C son similares entre sí pero menor al peso de las probetas cocidas a 750 °C (tabla 4.9). Esto se debe a que la a 750 °C no se desarrollan aún las fases amorfas.

Tabla 4.9: Peso de probetas según su temperatura de cocción y adición de diatomita.

Diatomita (%)	Peso (g)			
	0	10	20	30
750	67.18±0.24	64.26±0.11	61.06±0.08	57.51±0.09
850	66.39±0.27	63.50±0.12	60.30±0.08	56.64±0.07
950	65.8±0.15	63.32±0.08	59.97±0.05	56.52±0.08

La tabla 4.10 muestra el análisis de varianza del peso de las probetas. La adición de diatomita es la que contribuye en su totalidad a la variación del peso de las probetas. No existe interacción entre la temperatura de cocción y la adición de diatomita.

Tabla 4.10: Análisis de varianza del peso de probetas con dos factores y su interacción.

Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	95.21 %	1253.322	0.000
Temperatura	2.00 %	39.402	0.000
Diatomita*Temperatura	0.06 %	0.413	0.869
Error	2.73 %		
Total	100.00 %		

4.8 Resistencia a la compresión

En este punto, hubo discrepancias con la mayoría de las bibliografías consultadas. Adicionar diatomita a la masa cerámica del ladrillo reduce su peso y la hace más

porosa. Con esto en mente, la prospección que teníamos para este ensayo era una disminución de la resistencia proporcional a la cantidad de diatomita añadida, sin embargo, las pruebas de resistencia para los ladrillos, las probetas y las pilas, no mostraron ese comportamiento lineal.

4.8.1 Resistencia a compresión axial de ladrillos

La tabla 4.11 muestran los valores obtenidos para ladrillos con adiciones de 0%, 10%, 20% y 30%. Esa misma tabla se refleja en la figura 4.12 donde podemos distinguir que la adición de diatomita, en porcentajes de volumen de 10% y 20%, mejoran la resistencia a la compresión axial de los ladrillos artesanales. Si se agrega diatomita hasta un 30%, la resistencia disminuye drásticamente.

Tabla 4.11: Compresión simple de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

Cód.	f_b	σ	f'_b
	(kg/cm ²)		
L-D0	73.4	16.2	57.2
L-D10	86.7	7.0	79.7
L-D20	87.6	10.2	77.4
L-D30	65.1	22.2	42.9

A falta de ensayos más especializados como fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), análisis térmico diferencial y termogravimétrico (DTA Y TGA), microscopía electrónica de barrido (SEM), espectrometría infrarroja (FTIR), etc; no podemos explicar, contundentemente, la mejora en la resistencia del ladrillo hasta en casi 20% con la adición de diatomita que contradice los resultados obtenidos por otros autores.

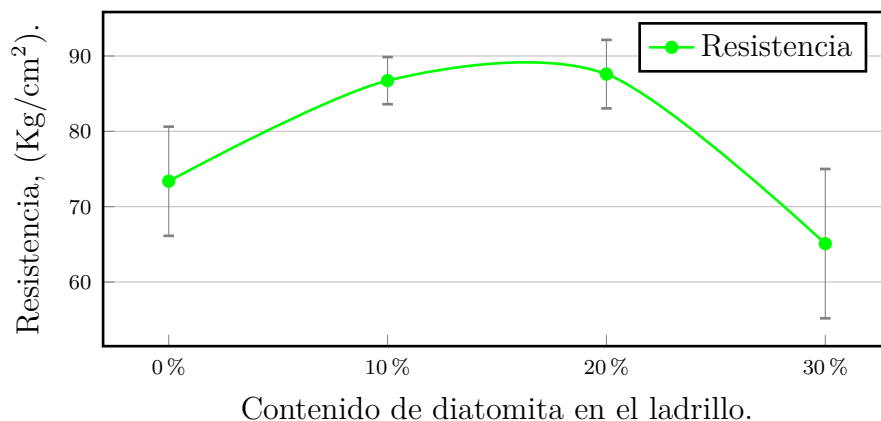


Figura 4.12: Compresión simple de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

La tabla 4.12, muestran los ensayos realizados a los ladrillos ubicados en los niveles Bottom, Middle y Top del horno. No hay mayor diferencia entre los ladrillos cocidos

Tabla 4.12: Compresión simple de ladrillos artesanales ubicados en tres niveles del horno durante la cocción.

Cód.	f_b	σ	f'_b
	(kg/cm ²)		
L-Bottom	77.5	10.6	66.9
L-Mmiddle	76.4	10.2	66.2
L-Top	74.3	18.0	56.3

en la parte inferior (Bottom) con los que fueron ubicados en la parte superior (Top), eso sí, se evidencia que hay mayor dispersión en el resultado de los ladrillos cocidos en la parte superior (figura 4.13) donde la temperatura de cocción llegó al rededor de los 850 °C.

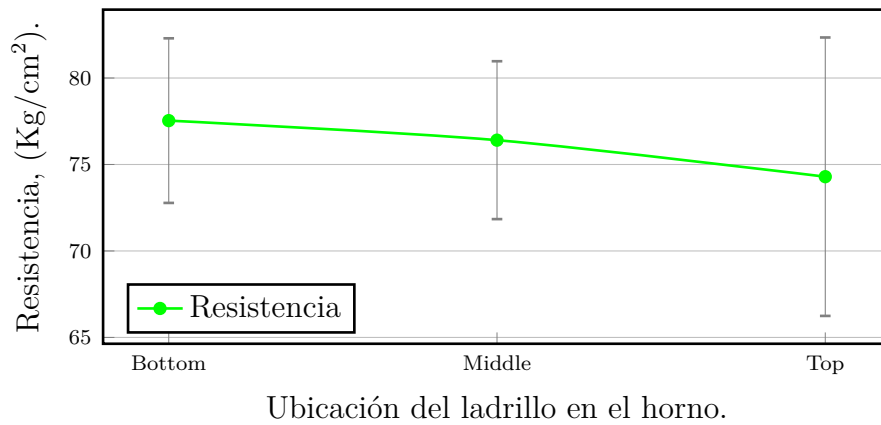


Figura 4.13: Resistencia de ladrillos según su ubicación.

El análisis estadístico muestra en la tabla 4.13a que, aunque hay una variación en la resistencia del ladrillo cuando se adiciona diatomita, no es suficiente para concluir que influye mejorando o reduciendo su resistencia. No existe una relación significativa entre la resistencia del ladrillo y su ubicación en el horno (tabla 4.13b).

Tabla 4.13: Análisis de varianza de la resistencia a compresión de ladrillos.

(a) Por adición de diatomita.				(b) Por ubicación en el horno.			
Fuente	Contribución	Valor F	Valor p	Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	32.08 %	2.680	0.080	Ubicación	1.24 %	0.075	0.928
Error	67.92 %			Error	98.76 %		
Total	100.00 %			Total	100.00 %		

4.8.2 Resistencia a compresión axial de probetas

La figura 4.14 muestran los ensayos realizados a probetas con diferentes dosificaciones de diatomita y cocidas a tres temperaturas máximas (750 °C, 850 °C y 950 °C).

Con cada aumento de 100°C, la resistencia de las probetas mejoró entre un 15 % y 30 %. Lo que evidencia una fuerte influencia de la temperatura de cocción sobre la resistencia de las probetas.

La misma figura, muestra que las probetas cocidas a 750 °C reflejan valores similares indistintamente de la cantidad de diatomita añadida, lo que significa que el calor aun no es suficiente para que se puedan ocurrir las reacciones de ceramización.

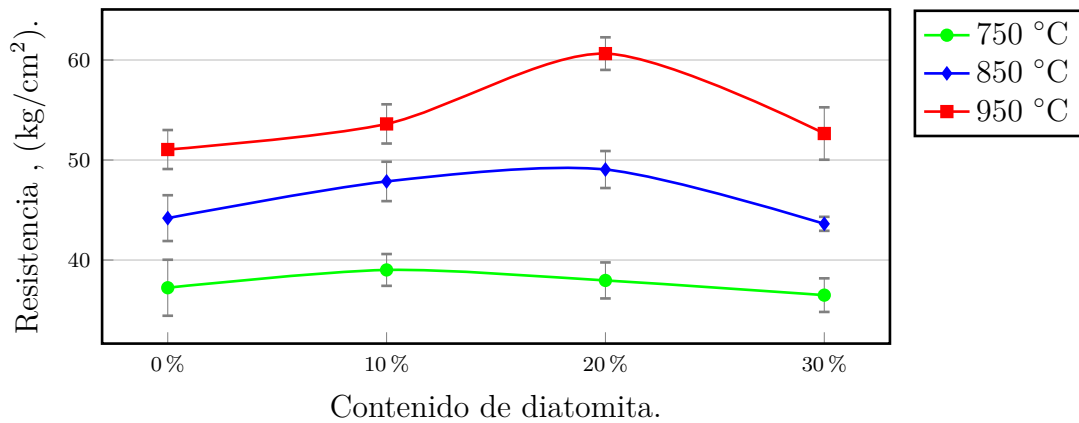


Figura 4.14: Resistencia a la compresión de probetas con adición de diatomita según la temperatura de cocción.

la figura 4.15 muestra la apariencia que adquieren las probetas que miden 1.5” de arista con cada dosificación de diatomita y temperatura de cocción. A medida que aumenta la temperatura de cocción, el color se intensifica. La diatomita no modificó sustancialmente la apariencia de los ladrillos.

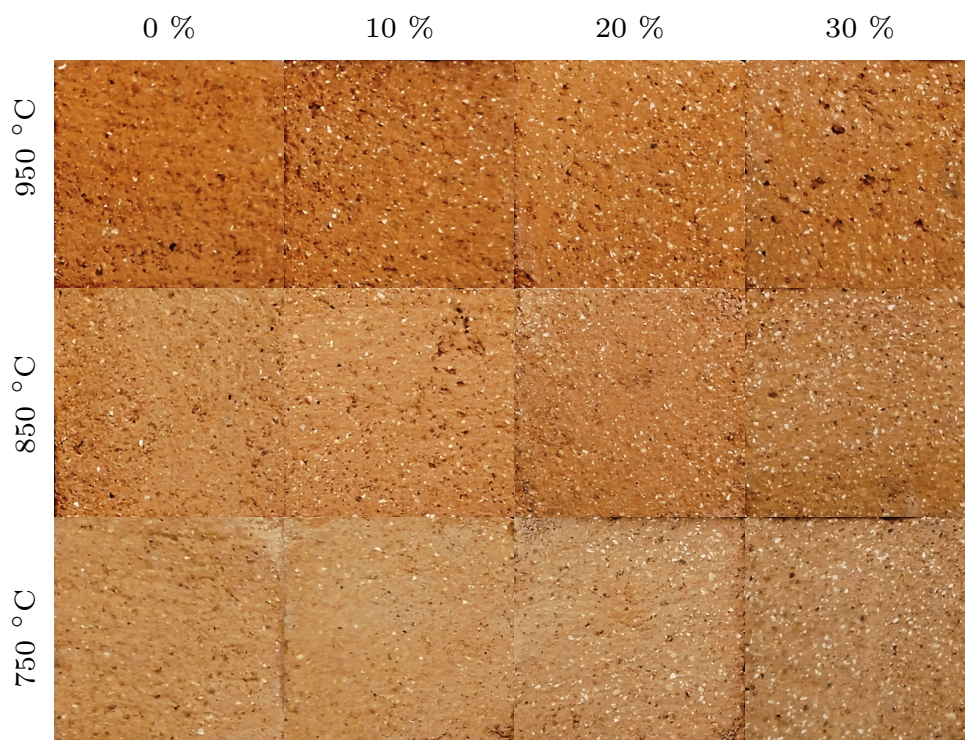


Figura 4.15: Apariencia de las probetas con adición de diatomita y cocidas a distintas temperaturas.

En la tabla 4.14 podemos ver que, a 950 °C y con una adición de 20 % de diatomita, la resistencia de las probetas mejoró en 18 %. Con 10 % de diatomita y cocidos a 850 °C mejoró en 11 %. Si bien, esto difiere de las bibliografías consultadas, la tendencia es muy similares a los resultados obtenidos para los ladrillos.

Tabla 4.14: Resistencia a la compresión de probetas con adición de diatomita según la temperatura de cocción.

		Resistencia a la compresión \bar{f}_b (Kg/cm ²)			
Diatomita (%)		0	10	20	30
T° (°C)	750	37.23 ± 2.80	39.01 ± 1.59	37.96 ± 1.80	36.49 ± 1.68
	850	44.19 ± 2.29	47.86 ± 1.97	49.05 ± 1.85	43.62 ± 0.70
	950	51.05 ± 1.95	53.61 ± 1.96	60.64 ± 1.63	52.65 ± 2.62

La prueba estadística al ensayo de resistencia de las probetas muestra que la temperatura de cocción es el factor que más contribuye a su resistencia y que existe una influencia del porcentaje de adición de diatomita y la temperatura con que se acepta la hipótesis H_1 (tabla 4.15). No existe interacción entre ambos factores.

Tabla 4.15: ANOVA de la resistencia de probetas con dos factores y su interacción.

Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	6.29 %	4.480	0.007
Temperatura	68.04 %	72.669	0.000
Diatomita*Temperatura	3.20 %	1.139	0.354
Error	22.47 %		
Total	100.00 %		

4.9 Variación dimensional de ladrillos artesanales

Existe mucha variación dimensional en los ladrillos por el mismo proceso artesanal de fabricación. Algunas razones se enumeran a continuación:

1. El uso de gaveras de madera que se deforman por el uso, la humedad y el calor.
2. La materia prima que se usa no es homogénea por lo que varía la contracción de secado y cocción de ladrillos artesanales.
3. Son diferentes labradores, con diferentes gaveras por lo que sus ladrillos son de diferentes calidades.

El porcentaje de variación dimensional del ladrillo, aumenta de 6.4 % a 9.9 % a medida que se incremente la diatomita. Sin embargo, las desviaciones estándar de las mediciones de los ladrillos con adición de diatomita son menores a los ladrillos que no tuvieron ninguna adición lo que significa que, si bien tienen mayor contracción, la disminución de sus medidas son más uniformes (tabla 4.16). Esto significa que hay mayor contracción en ladrillos con adición de diatomita y difiere del ensayo a contracción que se practicó usando un horno eléctrico. Se requiere mayor investigación al tener dos resultados parcialmente contradictorios para el mismo indicador.

Tabla 4.16: Variación dimensional del ladrillo con adición de diatomita.

Cód.	\bar{L} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)	\bar{A} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)	\bar{H} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)
L-D0	208.3	2.4	5.3	110.9	0.7	7.6	84.2	1.8	6.4
L-D10	204.9	2.1	6.9	110.3	1.2	8.1	83.1	1.5	7.7
L-D20	203.2	1.3	7.6	108.7	1.9	9.5	82.8	1.2	8.0
L-D30	202.7	2.0	7.9	109.1	1.0	9.1	81.1	1.3	9.9

La ubicación de los ladrillos en el horno no tuvo influencia en su variación dimensional que es similar en todos los grupos como lo muestra la tabla 4.17.

Las medidas que el fabricante nos ha proporcionado son de: L=220mm, A=120mm, H=90mm. Consideramos que determinar la variación dimensional en función de

Tabla 4.17: Variación dimensional del ladrillo por su ubicación en el horno.

Cód.	\bar{L} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)	\bar{A} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)	\bar{H} (mm)	σ (mm)	V. Dim. (%)
L-Bottom	209.1	1.6	5.0	111.9	1.8	6.7	85.0	1.7	5.6
L-Middle	209.5	2.3	4.8	111.8	1.7	6.9	83.8	2.0	6.9
L-Top	209.0	1.2	5.0	113.5	0.8	5.4	84.9	1.9	5.6

estos valores (medida de sus gaveras) no ofrece valores adecuados al no considerar la contracción por secado.

La cantidad de carbón que se coloca entre los ladrillos en el horno, influye fuertemente en las medidas de canto (ancho) de los ladrillos y el alabeo. Si se coloca mucho carbón, deforma el ladrillo o, al menos, modifica su apariencia como se aprecia en la figura 4.16 .



(a) Ladrillo mal cocido por exceso de carbón



(b) Ladrillos recochados por exceso de quemadura.

Figura 4.16: Problemas de variación dimensional y alabeo.

4.10 Alabeo de ladrillos artesanales

Para que la mezcla sea trabajable, se usa entre 25 % y 35 % de humedad. Esta cantidad de humedad, los tendales que no están perfectamente nivelados y el secado brusco son alguna de las causas por las que los ladrillos artesanales presentan mucho alabeo, sobretodo en la cara del ladrillo en contacto con el suelo. Los ladrillos clasifican como clase III.

Las tablas 4.18 y 4.19 muestran en alabeo de los ladrillos artesanales. La adición de diatomita o la ubicación del ladrillo dentro del horno no evidencia mayor influencia.

4.11 Variación dimensional y alabeo en probetas

Las probetas no mostraron mayor dispersión debido a que fueron fabricadas en un ambiente controlado y usando un único molde.

Tabla 4.18: Alabeo del ladrillo con adición de diatomita.

Cód.	Cara superior (mm)		Cara inferior (mm)		Alabeo (mm)	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Concavo	Convexo
L-D0	2	3	2	4	2	4
L-D10	3	3	2	4	3	4
L-D20	3	2	2	5	3	5
L-D30	2	2	2	4	2	4

Tabla 4.19: Alabeo del ladrillo por su ubicación en el horno.

Cód.	Cara superior (mm)		Cara inferior (mm)		Alabeo (mm)	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Concavo	Convexo
L-Bottom	2	3	3	5	3	5
L-Middle	2	2	2	4	2	4
L-Top	2	2	2	5	2	5

4.12 Resistencia a compresión axial de pilas

La figura 4.17 muestra la manera en que varía la resistencia de las pilas donde se aprecia que hubo una mejora en la resistencia de las pilas con adición de diatomita.

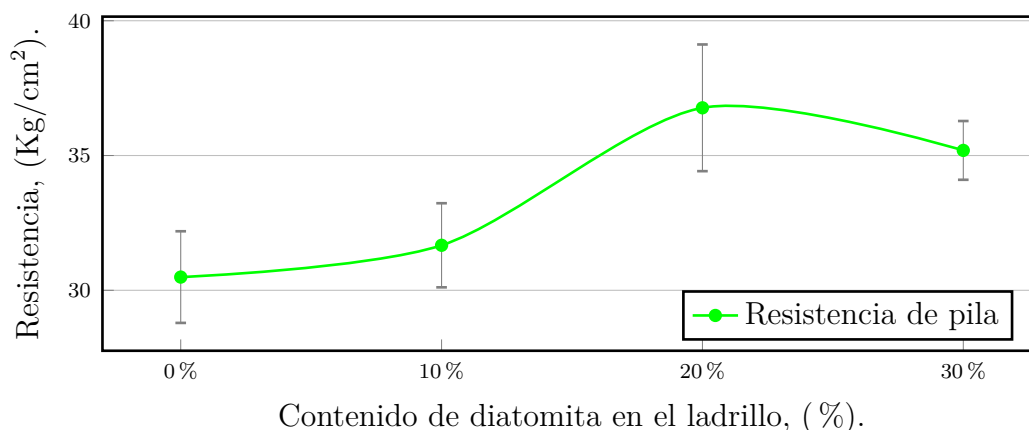


Figura 4.17: Compresión axial de pilas de ladrillos con adición de diatomita.

En la tabla 4.20 se resume las resistencia características f'_m alcanzada por las pilas de albañilería.

Tabla 4.20: Resistencia característica de pilas de albañilería.

Cód.	Promedio	Desv. Estandar	Resist. característica
	f_m (kg/cm ²)	σ	f'_m (kg/cm ²)
PILA-D0	30.5	1.7	28.8
PILA-D10	31.7	1.6	30.1
PILA-D20	36.8	2.4	34.4
PILA-D30	35.2	1.1	34.1

La figura 4.18 muestra una grieta diagonal que corta la unidad y el mortero, y dos fallas por trituración de ladrillo.



(a) PILA-D0-1

(b) PILA-D0-2

(c) PILA-D0-3

Figura 4.18: Rotura de pilas de ladrillos con 0% de diatomita.

La figura 4.19 muestra fallas verticales que atraviesan las tres pilas.



(a) PILA-D10-1

(b) D10-2

(c) PILA-D10-3

Figura 4.19: Rotura de pilas de ladrillos con 10% de diatomita.

La figura 4.20 muestra fallas verticales que atraviesan las tres pilas.

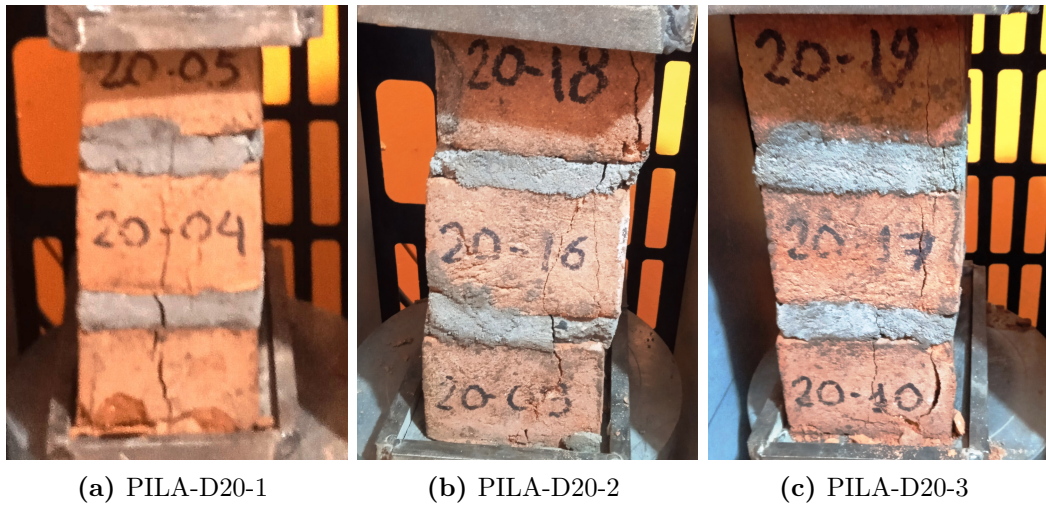


Figura 4.20: Rotura de pilas de ladrillos con 20 % de diatomita.

La figura 4.21 muestra que las tres pilas fallaron por trituración de uno de los ladrillos que lo componen.

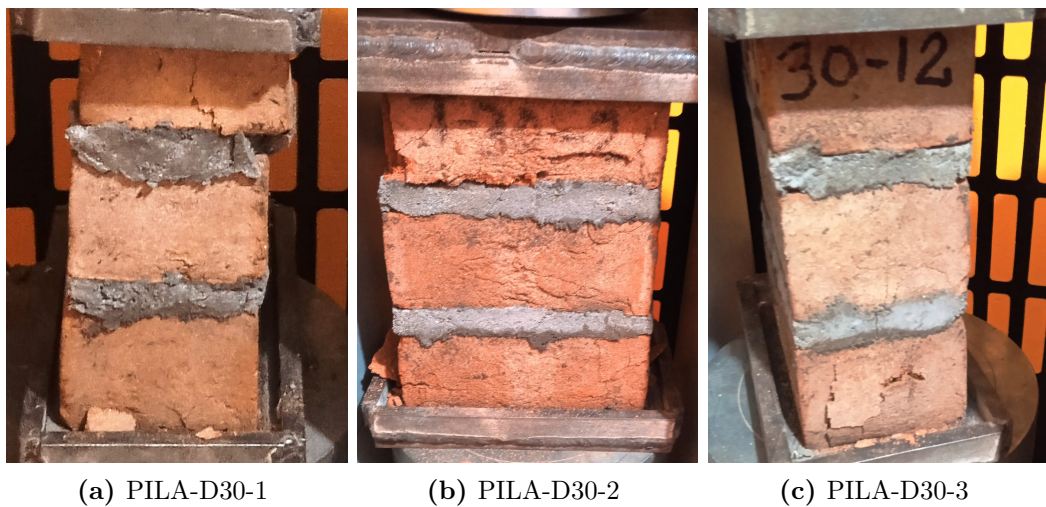


Figura 4.21: Rotura de pilas de ladrillos con 30 % de diatomita.

La diatomita sí influyó en las pruebas de las pilas (tabla 4.21).

Tabla 4.21: ANOVA de la resistencia de pilas de ladrillos.

Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	76.36 %	8.613	0.007
Error	23.64 %		
Total	100.00 %		

4.13 Medida de la absorción

4.13.1 Prueba de absorción de ladrillos

La tabla 4.22 detalla el porcentaje de agua que absorben los ladrillos artesanales según la cantidad de diatomita adicionada a su masa cerámica.

Tabla 4.22: Absorción de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

Cód.	L-0D	L-10D	L-20D	L-30D
Diatomita (%)	0	10	20	30
Absorción (%)	19.6 ± 0.4	20.3 ± 0.5	22.7 ± 0.8	25.9 ± 0.4

En la figura 4.22 se observa que, a mayor adición de diatomita, la absorción del ladrillo también aumenta de forma proporcional.

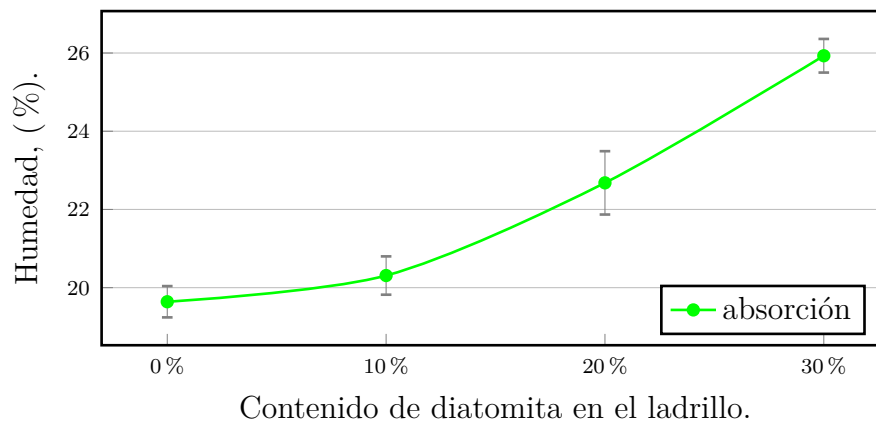


Figura 4.22: Porcentaje de absorción de ladrillos artesanales.

La tabla 4.23, en el mismo sentido, da cuenta del porcentaje de agua que absorben los ladrillos cocidos en tres zonas diferenciadas del horno (Bottom, Middle, Top). Los ladrillos de la zona Bottom y Middle son los que absorben menos agua que los ladrillos ubicados en la zona Top. La figura 4.23 muestra estos datos tabulados.

La tabla 4.23

Tabla 4.23: Absorción de ladrillos artesanales de acuerdo a su ubicación en el horno.

Cód.	Absorción (%)
L-Bottom	20.8 ± 0.5
L-Middle	19.7 ± 0.5
L-Top	21.4 ± 0.8

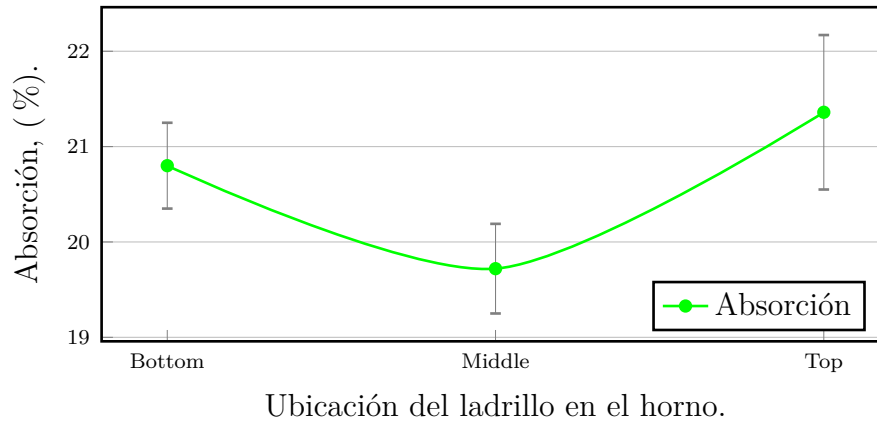


Figura 4.23: Porcentaje de absorción de ladrillos artesanales según su ubicación.

Los ensayos de absorción muestran una fuerte relación con la diatomita que se le adiciona, en tal sentido, se acepta la hipótesis H_1 dado que, en la tabla 4.24a, se aprecia el nivel de significancia $p < 0,05$. La absorción del ladrillo no se ve influenciada significativamente por su ubicación en el horno (tabla 4.24b).

Tabla 4.24: Análisis de varianza de la absorción de ladrillos.

(a) Por adición de diatomita.				(b) Por ubicación en el horno.			
Fuente	Contribución	Valor F	Valor p	Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	76.35 %	22.590	0.000	Ubicación	18.01 %	1.758	0.204
Error	23.65 %			Error	81.99 %		
Total	100.00 %			Total	100.00 %		

4.13.2 Prueba de la absorción de probetas

En la tabla 4.25 se detalla el porcentaje de agua que absorbió cada grupo de ensayo en función de su temperatura de cocción (750 °C, 850 °C, 950 °C) y el porcentaje de adición de diatomita (0 %, 10 %, 20 % y 30 %).

Tabla 4.25: Absorción de probetas según su temperatura de cocción y adición de diatomita.

		Absorción (%)			
Diatomita (%)		0	10	20	30
T° (°C)	750	20.77±0.15	23.16±0.22	25.28±0.17	29.04±0.13
	850	21.40 ± 0.14	23.12 ± 0.17	24.87 ± 0.27	28.52 ± 0.08
	950	20.63 ± 0.15	22.62 ± 0.18	24.49 ± 0.21	27.42 ± 0.17

El porcentaje de absorción de las probetas se ve influenciada, en mayor medida, por la cantidad de adición de diatomita. A mayor temperatura de cocción, las probetas absorben menos agua (figura 4.24)

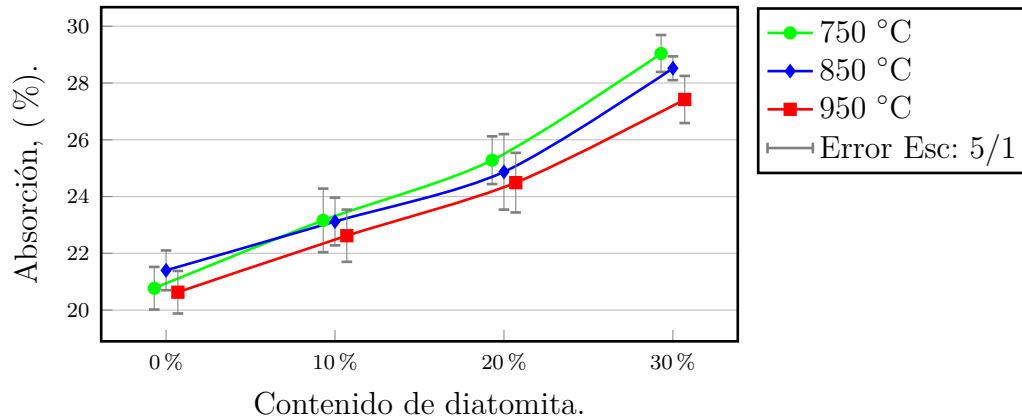


Figura 4.24: Absorción de agua de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.

El análisis estadístico (tabla 4.26) muestra que la diatomita y la temperatura de cocción sí influyen en la absorción del ladrillo, siendo la diatomita la que más contribuye con el 92 %. Se acepta la hipótesis H_1 . No existe interacción significativa.

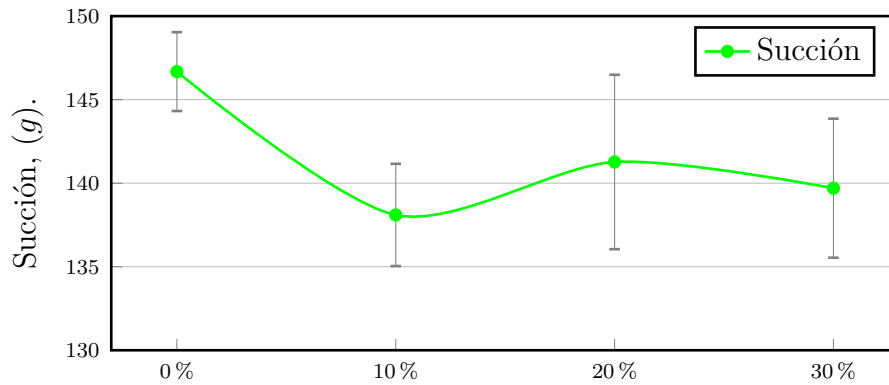
Tabla 4.26: Análisis de varianza del porcentaje de absorción

Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	96.01 %	956.573	0.000
Temperatura	1.55 %	23.232	0.000
Diatomita*Temperatura	0.83 %	4.116	0.002
Error	1.61 %		
Total	100.00 %		

4.14 Prueba de succión

4.14.0.1 Prueba de succión de ladrillo

En la figura 4.25 podemos apreciar que adicionar diatomita al ladrillo hace que disminuya su succión al menos durante el primer minuto. Se desconoce la tendencia de succión en los siguientes minutos.



Contenido de diatomita en el ladrillo.

Figura 4.25: Succión normalizada de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

La tabla 4.27 muestra que la succión normalizada de todos los ladrillos está por encima de los 20 g/200cm²-min lo que significa que deben ser humedecidos un día antes para que no absorban el agua del mortero.

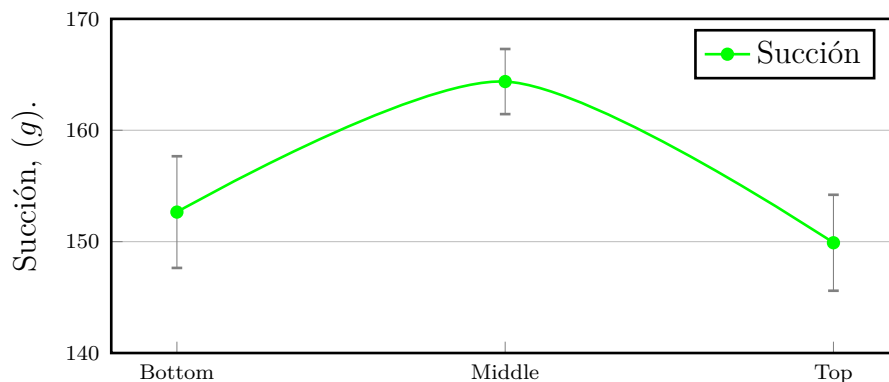
Tabla 4.27: Succión normalizada de ladrillos artesanales con adición de diatomita.

Cód.	L-0D	L-10D	L-20D	L-30D
Diatomita (%)	0	10	20	30
Succión (g)	146.68±2.36	138.10±3.06	141.27±5.22	139.70±4.16

La tabla 4.28 muestra la cantidad de agua que absorben los ladrillos que se cocieron en tres zonas diferenciadas del horno (Bottom, Middle, Top).

Tabla 4.28: Succión normalizada de ladrillos artesanales según su ubicación.

Cód.	Succión (g)
L-Bottom	152.65 ± 5.01
L-Middle	164.37 ± 2.92
L-Top	149.90 ± 4.31



Ubicación del ladrillo en el horno.

Figura 4.26: Succión normalizada de ladrillos artesanales según su ubicación.

La prueba ANOVA para la succión de ladrillos según su ubicación en el horno y el porcentaje de adición de diatomita, muestra que si bien hay una influencia de estos factores, no se tiene información suficiente para determinar una tendencia clara (tabla 4.29b).

Tabla 4.29: Análisis de varianza de la absorción de ladrillos.

(a) Por adición de diatomita.				(b) Por ubicación en el horno.			
Fuente	Contribución	Valor F	Valor p	Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	9.32 %	1.028	0.394	Ubicación	22.90 %	3.416	0.050
Error	90.68 %			Error	77.10 %		
Total	100.00 %			Total	100.00 %		

4.14.0.2 Prueba de la succión de probetas

La figura 4.27 evidencia que, a mayor temperatura de cocción de las probetas, su succión aumenta. Adicionar 10 % de diatomita hizo que la succión de la probeta disminuya y empieza a aumentar a medida que se incrementa este porcentaje de diatomita. Las probetas que no tienen diatomita tuvieron mayor succión durante el primer minuto (tabla 4.30).

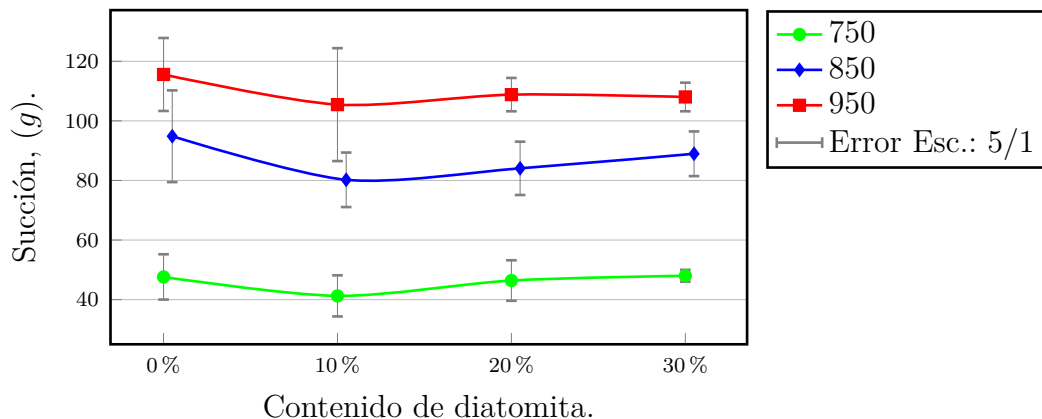


Figura 4.27: Succión normalizada de probetas con adición de diatomita cocidas a distintas temperaturas.

Tabla 4.30: Succión normalizada de probetas con adición de diatomita según su temperatura de cocción.

Diatomita (%)	T° (°C)	Succión (g)			
		0	10	20	30
750		47.62±1.52	41.25±1.38	46.41±1.36	48.01±0.4
850		94.85±3.08	80.22±1.83	84.07±1.79	88.96±1.5
950		115.58±2.45	105.46±3.79	108.82±1.12	108.03±0.96

La tabla 4.31 muestra que el factor que más influye en la succión de las probetas es la temperatura de cocción.

Tabla 4.31: Análisis de varianza de la succión de probetas.

Fuente	Contribución	Valor F	Valor p
Diatomita	1.85 %	20.414	0.000
Temperatura	95.50 %	973.912	0.000
Diatomita*Temperatura	0.35 %	1.906	0.124
Error	2.31 %		
Total	100.00 %		

4.14.1 Ensayo termográfico a probetas

De acuerdo al ensayo termográfico, la adición de diatomita en 10 % y 20 % aumentó la conductividad térmica de las probetas que fueron cocidas a 950 °C. La tendencia es similar con las pruebas de resistencia de las probetas y los ladrillos (figura 4.28), es decir, a mayor resistencia, mayor conductividad térmica.

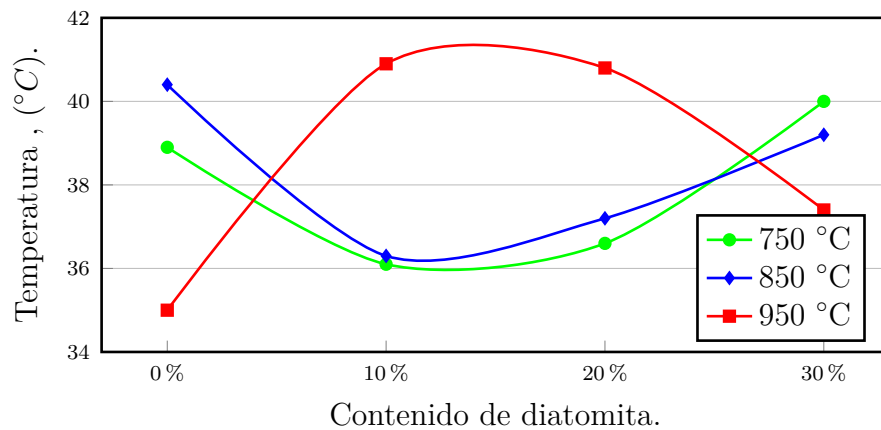


Figura 4.28: Conductividad térmica de probetas.

El ensayo termográfico realizado a las probetas se muestra en la (figura 4.29).

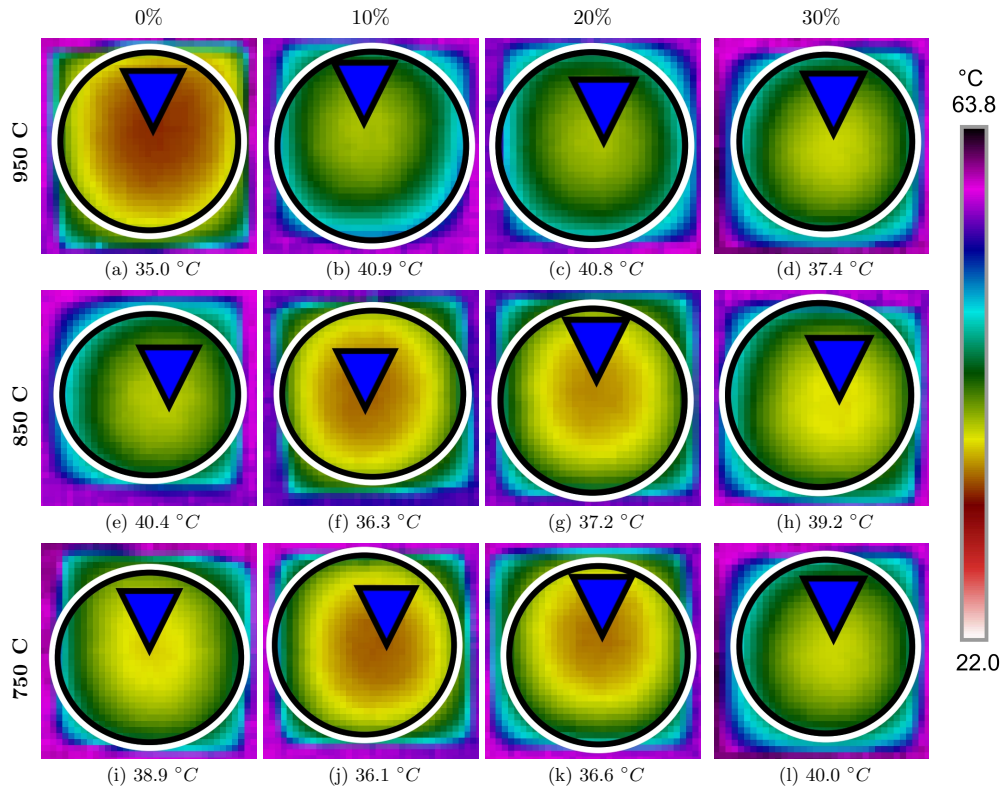


Figura 4.29: Imagen termográfica de las probetas luego de 10 minutos de haber estado en contacto con el *hot plate*.

A mayor cantidad de poros cerrados y que no se comuniquen entre sí, menor será la conductividad térmica de las probetas. La diatomita, recién empieza a actuar como aislante, cuando se le adiciona en cantidades mayores a 30 %.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

5.1.1 Sobre el horno tipo volcán artesanal

Los hornos tipo volcán que se usan en la región son ineficientes y existen fuertes gradientes térmicos en su interior; sin embargo, la temperatura alcanzada (entre 850 °C y 960 °C) es suficiente para la sintetización de la materia prima.

5.1.2 Sobre la materia prima

La calidad de los ladrillos artesanales que se fabricaron en la comunidad de Huayllapampa con tierra de los cerros de la misma zona, podrían mejorar más si se combinaran con materiales fundentes y desengrasantes. La adición de diatomita a la masa cerámica, mejoró la resistencia del ladrillo al aportar sílice y comportarse como desengrasante; cuando por lo general, le debió bajar su resistencia a la compresión axial.

Todas las dosificaciones presentaron plasticidad óptima para su moldeo. Sin embargo, la diatomita al actuar como desengrasante puede hacer perder plasticidad a la mezcla en concentraciones mayores y requerir mayor cantidad de agua.

5.1.3 Sobre las propiedades físicas del ladrillo artesanal

5.1.3.1 Humedad e índice de secado

El barro para preparar ladrillos artesanales, requiere entre 3% y 5% más de agua por cada 10% de adición de diatomita. No obstante, este incremento de la humedad inicial, no retrasó el proceso de secado porque las cualidades porosas de la diatomita,

facilitaron la pérdida del agua intersticial de manera más uniforme y rápida en comparación a un ladrillo labrado sin diatomita; reduciendo inclusive, mermas por contracciones bruscas que generan grietas en su superficie. Durante la cocción las diatomitas ayudan a la eliminación del agua restante del ladrillo.

Al noveno día, todos los ladrillos con dosificaciones de 0 %, 10 %, 20 % y 30 % se nivelaron en contenido de humedad de alrededor de 5 % y estuvieron completamente secos a los 14 días. El uso de diatomita no aumenta el tiempo de secado de los ladrillos artesanales.

5.1.3.2 Peso crudo de ladrillos artesanales

El peso húmedo de un ladrillo artesanal es de 3 % menos por cada 10 % de diatomita que se adiciona. Un ladrillo húmedo sin adición de diatomita pesó en promedio 4080 *g*; en cambio ladrillos húmedos con adición de diatomita de 10 %, 20 % y 30 % pesaron 3930 *g*, 3830 *g* y 3675 *g* respectivamente.

El peso promedio del ladrillo seco de control fue de 3150 *g*. El peso seco de los ladrillos se redujo en 200 *g* por cada 10 % de adición de diatomita. El peso seco de las probetas siguieron la misma tendencia.

5.1.3.3 Peso Cocido de ladrillos artesanales

El peso final promedio de los ladrillos artesanales si adición de diatomita fue de 2800 *g*. Su peso se redujo en 18 % con la adición de 30 % de diatomita, es decir, con 30 % de diatomita, los ladrillos llegaron a pesar casi 500 *g* menos.

La ubicación de los ladrillos dentro del horno no tuvo mayor influencia sobre el peso de los ladrillos. Este resultado concuerda con las probetas cocidas donde el peso a 850 °C y 950 °C son similares. Es mayor el peso de las probetas cocidas a 750 °C porque no alcanzaron a sintetizarse.

5.1.3.4 Contracción por secado y cocción

La contracción por secado de los ladrillos artesanales para las dosificaciones de 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de diatomita fue de 5.7 %, 5.6 %, 5.4 % y 4.7 % respectivamente. La diatomita, al actuar como desengrasante reduce la contracción de los ladrillos. La contracción por cocción fue menor a la de secado para todas las dosificaciones (entre 0.5 % y 1.5 %). La contracción acumulada fue similar para todas las dosificaciones (entre 6 % y 7 %).

5.1.3.5 Variación dimensional y alabeo

Aunque el porcentaje de variación dimensional de los ladrillos artesanales son similares para todas las dosificaciones, se aprecia una menor dispersión en las medidas de los ladrillos que tienen diatomita. La variación dimensional clasifica a los ladrillos como clase II.

5.1.3.6 Absorción

La absorción de los ladrillos artesanales aumenta con la adición de diatomita de manera proporcional debido a la alta porosidad de las diatomitas. Sin diatomita, el porcentaje de absorción del ladrillo es de 19.6 %; con 30 % de diatomita, la absorción sube a 26 %.

Se ha demostrado que a mayor temperatura de cocción, el porcentaje de absorción disminuye. Así lo demuestra los ensayos realizados a las probetas cocidas a 950 °C.

5.1.3.7 Succión

La succión de los ladrillos con adición de diatomita fue ligeramente menor a la de los ladrillos sin diatomita. La tendencia fue similar a en las probetas, sin embargo no es concluyente debido a que la diferencia es pequeña.

A mayor temperatura de cocción, la succión también aumenta debido, en gran parte, a la conectividad que alcanzan los poros durante la sintetización desde la cara exterior a la matriz interna del ladrillo. Todos los ladrillos con o sin diatomita requieren ser mojados una noche antes de que sean usados en muros de albañilería.

5.1.3.8 Sobre el ensayo termográfico

El ensayo termográfico realizado a las probetas es insuficiente para establecer una relación clara entre la conductividad térmica del ladrillo, la adición de diatomita y su temperatura de cocción. El motivo principal es el número limitado de observaciones y la escala. Sin embargo, contribuyen a la discusión de un posible uso en pruebas no destructivas de ladrillos y otros materiales de construcción ya que no deja de ser interesante la similitud de tendencias de la resistencia de las probetas con las temperaturas que desarrollan durante el ensayo termográfico.

5.1.4 Sobre las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal

5.1.4.1 Resistencia a la compresión axial de ladrillos

Contrario a la prospección que se tenía para el eventual resultado de estos ensayos, la resistencia del ladrillo mejoró en casi 20 % si se le agregaba entre 10 % y 20 % de

diatomita en comparación a los ladrillos artesanales sin adición de diatomita que alcanzaron una resistencia promedio de 73 kg/cm^2 . Al agregarle 30 % de diatomita, la resistencia disminuyó en 10 %.

La tendencia de la resistencia es similar en las probetas ensayadas. A mayor temperatura de cocción, su resistencia mejoró lo que demuestra que es fundamental que los ladrillos alcancen una adecuada temperatura de cocción. Al incrementar la temperatura de cocción de $850 \text{ }^\circ\text{C}$ a $950 \text{ }^\circ\text{C}$, la resistencia mejoró en 20 %.

Por la resistencia que alcanzaron, los ladrillos sin adición de diatomita clasifican como clase I, los ladrillos con 10 % y 20 % de diatomita clasifican como clase II. Los ladrillos con 30 % de diatomita, no son adecuados para muros portantes en zonas sísmicas 3 y 4.

5.1.4.2 Resistencia a la compresión axial de pilas

La tendencia fue similar a la resistencia desarrollada por los ladrillos. Las pilas con 20 % de diatomita fueron las que mayor resistencia alcanzaron (33.4 kg/cm^2) que equivale a un incremento de 20 % respecto a las pilas sin adición diatomita.

Se evidenció una mejor adherencia entre el mortero y los ladrillo con adición de diatomita. Sin embargo, los ensayos realizados no son suficientes para darle validez externa a estos resultados.

5.2 Recomendaciones

Es efectivo el uso de un horno eléctrico para cocer probetas y tener una idea cercana de las características de los ladrillos elaborados con la materia prima seleccionada. Si bien, para esta investigación se usó probetas cúbicas de 1.5", se recomienda que el tamaño de arista de las probetas sean de 2" o 2.5" para que la similitud de sus propiedades se acerquen más a la de los ladrillos y el ensayo a compresión arroje resultados más precisos.

Si se desea mejorar el proceso de cocción de los ladrillos artesanales, lo más adecuado sería cambiar a hornos de tiro invertido que son más eficientes, con menor gradiente térmico y que en lugares como San Jerónimo (Cusco) ya se vienen usando. Consumen menos combustible, menos tiempo de quema y se obtiene ladrillos más homogéneos y de mejor calidad.

Para obtener un mejor perfil térmico del horno tipo volcán, se recomienda el uso de termocuplas con su respectiva *data logger* que podrían registrar la temperatura del horno de manera más continua y exacta.

5.3 Trabajos futuros

1. No hacer dormir por una noche el barro podría influir negativamente en la calidad de los ladrillos artesanales debido a que la distribución de la humedad no es uniforme lo que podría desencadenar fisuras de secado. Se hace necesario un estudio sobre la influencia del uso de mezcladora para labrar los ladrillos artesanales y de qué manera influye la diatomita en la hidratación y secado.
2. Es necesario investigaciones usando otras materias primas de canteras del distrito de Pacaycasa con diferentes granulometrías y determinar la influencia de la adición de diatomita sobre las propiedades térmicas, físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales. Una menor y adecuada distribución granulométrica de la materia prima reduciría los problemas de carbonatación por humedad (rotura por caliche), mayor superficie específica y mejor densidad de empaquetamiento.
3. Se debe investigar la influencia de adicionar diatomita a los ladrillos artesanales en la interacción unidad-mortero dado que una mejor adherencia incrementa la resistencia al corte de la albañilería y donde las fallas atraviesan al mortero y a la unidad.
4. Los ladrillos artesanales adquieren una baja calidad debido a su proceso de cocción en hornos tipo volcán. Para establecer una producción sostenible de ladrillos a largo plazo con una menor huella de carbono, creemos que se debería explorar otro tipo de hornos más eficiente como por ejemplo, hornos de tiro invertido que mejoran la calidad y el proceso de cocción del ladrillo artesanal.

Referencias Bibliográficas

- Agramonte, BJ (1983). Las diatomitas de ayacucho y su paralelo con las de tarucani y bayovar. *Bol. Soc. Geol. de Perú*, 72:259–269. (Pág. 17.)
- Aguilar, I., Cruces, E., & Díaz, B. (2013). *Análisis de la varianza ANOVA*. Universidad de Málaga. Departamento de Economía Aplicada, Estadística y Econometría. (Pág. 30.)
- Barcelo, C. (s. f.). *Transmisión de calor en los edificios*. Apuntes de clase. (Pág. xvii.)
- Bellido, J. (2013). *Manufactura local de materiales de construcción: Un aporte para reducir costos y mejorar la calidad de las edificaciones*. (Tesis para optar el grado de Maestro en gestión y Administración de la Construcción. (Pág. 15 y 16.)
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J., & Quintero, J. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. 27(105):569–578. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* (Pág. 13.)
- Betancourt, D., Díaz, Y., & Martirena, F. (2013). Influence of the addition of 2 % calcium carbonate during the manufacturing process of red ceramic brick: drying and firing stage. 28(2):113–114. *Ingeniería de Construcción RIC*. (Pág. 16.)
- Bhatnagar, J. & Goel, R. (2002). Thermal changes in clay products from alluvial deposits of the indo-gangetic plains. *Construction and Building Materials*, 16(2):113–122. Elsevier. (Pág. 21.)
- Blondet, M, Bragagnini, I, Ottazzi, G, Bidart, M, Tarque, N, & Mosqueira, M (2017). Construcción antisísmica de viviendas de ladrillo. *Marcial Blondet*, (2). (Pág. 4.)
- Bustamante, W., Bodadilla, A., & Navarrete, B. (2005). Uso eficiente de la energía en edificios habitacionales. mejoramiento termico de muros de albañilería de ladrillos ceramicos. 4(7):5–13. *Revista de Construcción*. (Pág. 24.)
- Cedeño, A. (2010). *Materiales bioclimáticos*, volume 12. *Revista de Arquitectura*. (Pág. 26.)
- Collieu, A. (1977). *Propiedades mecánicas y térmicas de los materiales*. Reverte. (Pág. 25.)
- Constructivo (2020). Construproducos: Ladrillos de diatomita soltek de pacasma-

- yo. constructivo.com/actualidad/ constructivo.com. Accessed: 2021-03-30. (Pág. 11.)
- COSUDE (2011). *Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera*. Programa EELA. (Pág. 20.)
- Cultrone, G. & Elias, M. L. (2018). Transformaciones mineralógicas y en el sistema poroso de ladrillos elaborados con lodo de diatomita calcinada y cloruro sódico. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (23):14. (Pág. 11.)
- Cultrone, G (2001). *Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico*. PhD thesis, Universidad de Granada. (Pág. 22, 24, 25 y 47.)
- Cultrone, G, Aurrekoetxea, I, Casado, C, & Arizzi, A (2020). Sawdust recycling in the production of lightweight bricks: How the amount of additive and the firing temperature influence the physical properties of the bricks. *Construction and Building Materials*, 235:117436. (Pág. 26.)
- Cultrone, G. & Sebastian, E. (2003). Evaluación de la durabilidad de ladrillos mediante técnicas destructivas (td) y no-destructivas (tnd). 53(269):41–59. *Materiales de construcción*. (Pág. 22.)
- Cultrone G, Sebastian E, Elert K., Torre M, Cazalla O, & Vavarro C (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(3):547–564. Elsevier. (Pág. 21 y 29.)
- Díaz, A & Ramírez, J (2009). Compendio de rocas y minerales industriales en el Perú. *Institución Geológica y Minera al Servicio del País. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos*, (19). (Pág. 5 y 6.)
- Deffis, A. (1999). *Energía. Fuentes primarias utilización ecológica*. árbol Editorial. (Pág. 26.)
- Díaz, A, Boulanger, E, & Lima, M (2017). Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región ayacucho-[boletín b 40]. (Pág. 14, 15, 17 y 19.)
- Díaz, Y (2011). Evaluación del uso del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos cerámica roja. *Investigación y desarrollo*. (Pág. 23.)
- E.070 (2006). *Norma Técnica E.070 Albañilería*. Resolución Ministerial N 011-2006-Vivienda. (Pág. 12 y 28.)
- Elías, X (2015). *Nutrientes tecnológicos para la industria cerámica estructural*. PhD thesis, Tesis Doctoral, Universidad de Jaén, Escuela Politécnica Superior de Linares. (Pág. XVII y XVII.)
- Fraser (1976). Estudio económico y tecnológico para la explotación y aprovechamiento de las rocas industriales: Trípoli. (Pág. 17.)
- Furlan, V (1996). Causes, mechanisms and measurement of damage in cultural heritage materials. the state of the art: mortars, bricks and rendering. In *LCP publications 1975-1995: Matériaux de construction. Pierre. Pollution atmosphérique. Peinture murale*, pages p–75. (Pág. 21.)

- Galán, E. & Aparicio, P. (s. f.). Materias primas para la industria cerámica. pages 1–18. Universidad de Sevilla. (Pág. 16.)
- Galán, RJ, Cotes, MT, Bueno, S, & Martínez, C (2017). Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing. *Construction and Building Materials*, (144):27–337. (Pág. 10.)
- García L, G., Martín, J., & Tendero, R. (2010). Caracterización termográfica de ladrillos. (Pág. 47.)
- García-Ten, J., Orts, M.J., Saburit, A., & Silva, G. (2010). Thermal conductivity of traditional ceramics: part ii: influence of mineralogical composition. *Ceramics International*, 36(7):2017–2024. Elsevier. (Pág. 12.)
- García, VJ, Zúñiga, AR, Márquez, CO, Pérez, JG, Fernández, F, & Hernández, F. (2016). Strength developing in clay-andesite brick. *Materials Sciences and Applications*, (7):403–424. (Pág. 12.)
- Guggenheim, S. & Martín, R.T. (1995). Definition of clay and clay mineral: Joint report of the aipea and cms nomenclature committees. (43):255–256. *Clays Clay Miner.* (Pág. 12.)
- Harman, L. (2010). *Confort Térmico en Viviendas Altoandinas... Un enfoque integral*. CARE Perú. (Pág. xvii.)
- Hasan, M., Saidi, T., Jamil, M., Rhina, Z., et al. (2021). Characteristics of lightweight bricks composed of clay and diatomite. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering*, pages 9–19. Springer. (Pág. 10.)
- Huamaní, M. & Solís, S. (2020). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de albañilería de arcilla maciza adicionadas con diatomita del yacimiento de San Juan de Tarucani, Arequipa 2020*. PhD thesis, Universidad Continental, Fac. de Ingeniería. (Pág. 11.)
- Illana, C & Blanco, MN (2008). Usos industriales de las algas diatomeas. *Quercus*, (267):32–37. (Pág. 10.)
- INEI (2007). *Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda*. Lima: Centro de Edición de la Oficina Técnica de Difusión del INEI. (Pág. 3.)
- INEI (2017). *Censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas*. (Pág. 3.)
- INEI (2020). *Mapa de pobreza monetaria distrital 2018*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Pág. 5.)
- Jamshidi, R., Rabanifar, H., & Veisheh, S. (2015). Utilización de sedimentos de cuenca de presa sepidrud en ladrillos de arcilla cocida: experimento a escala de laboratorio. 65(320). *Mater. Construcc.* (Pág. 23 y 24.)
- Janampa, K, Cerón, O, Morales, O, & Oré, J (2020). Thermal characterization of materials used in rural housing constructions in ayacucho, peru. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1433, page 012004. IOP Publishing. (Pág. 26.)

- Jelle, BP, Mofid, MS, & Gao, T (2018). Utilizing the knudsen effect in the quest for super insulation materials. In *Proceedings of 1st International Conference on New Horizons in Green Civil Engineering (NHICE-01)*. University of Victoria. (Pág. XVII.)
- Karaman, S, Ersahin, S, & Gunal, H (2006). Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks. (Pág. 24.)
- Lopez, P. (2011). *Ladrillos de edificios históricos de Toledo: Caracterización, origen de las materias primas y aplicación para con conservación y restauración*. Memoria para optar el título de Doctor. Universidad complutense de Madrid, España. (Pág. 29.)
- Manuel, BY (2015). *Elaboración de ladrillos vidriados de bajo peso y alto alto desempeño para uso ornamental y para la industria de la construcción*. PhD thesis, Universidad Nacional de San Agustín. E.P. de Ingeniería de materiales. (Pág. 11.)
- Mella, A. (2004). *Estudio, caracterización y evaluación de las puzolanas locales en la masa cerámica del ladrillo*. Tesis para optar el grado de licenciado en las Ciencias de la Construcción. Bio Bio, Chile. (Pág. 13 y 16.)
- Mihoubi, D., Zagrouba, F., Ben Amor, M., & Bellagi, A. (2002). Drying of clay. i material characteristics. *Drying technology*, 20(2):465–487. Taylor & Francis. (Pág. 23.)
- Muñoz, P, Morales, MP, Letelier, V, & Mendivil, MA (2016). Fired clay bricks made by adding wastes: Assessment of the impact on physical, mechanical and thermal properties. (Pág. 12, 13 y 22.)
- Mueller, H., Maithy, S., Prajapati, S., Bhatta, A., & Shrestha, B. (2008). Green brick making manual. *Swiss Agencyfor Development and Cooperation*. (Pág. 13, 16, 20 y 54.)
- MVCS (2013). *Encuesta nacional sobre percepción de las familias respecto al confort térmico y lumínico de viviendas*. Dirección Nacional de Construcción. (Pág. 4.)
- Nait-Ali, B, Haberko, K, Vesteghem, H, Absi, J, & Smith, DS (2007). Preparation and thermal conductivity characterisation of highly porous ceramics: comparison between experimental results, analytical calculations and numerical simulations. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(2-3):1345–1350. (Pág. XVII.)
- Navidi, W. (2011). *Statistics for engineers and scientists*. McGraw-Hill Higher Education New York, NY, USA. (Pág. 27.)
- Ngohe-Ekam, PS, Meukam, P, Menguy, G, & Girard, Philippe (2006). Thermophysical characterisation of tropical wood used as building materials: With respect to the basal density. *Construction and Building Materials*, 20(10):929–938. (Pág. 26.)
- Niesper, A. (1958). *Ueber das Trocknen von Ziegeltonen*. PhD thesis, ETH Zurich. (Pág. 20.)

- Okunade, E. (2015). The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterites-clay brick. 8(6):1042–1043. *Journal of Applied Sciences*. (Pág. 10.)
- Ordaz, JA, Melgar, MC, & Rubio, CM (2011). *Métodos estadísticos y econométricos en la empresa y para las finanzas*. Universidad Pablo de Olavide. Departamento de Economía Métodos Cuantitativos e Historia Económica. (Pág. 27.)
- Pico, Á. A. R. & Carrasco, J. A. C. (2018). Manufacture of solid bricks with calcined diatoms. *Revista CIENCIA Vol*, 20(2):105–117. (Pág. 10.)
- Pimraksa, K & Chindaprasirt, P (2009). Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. *Ceramics International*, 35(1):471–478. (Pág. 11.)
- Rafukka, I.A., Onyekpe, B., & Tijjani, Y. (2013a). Effect of gezawa clay on the properties of silica stone for refractory brick. 315:11–14. *Applied Mechanics and Materials*. (Pág. 12.)
- Rafukka, I.A., Onyekpe, B., & Tijjani, Y. (2013b). Viability of some kano-nigerian clays for refractory applications. 315:477–481. *Applied Mechanics and Materials*. (Pág. 12.)
- Rahaman, M. (2007). Sintering of ceramics. pages 1–172. Taylor & Francis Group. (Pág. 24.)
- Ramírez, JF (2012). Caracterización de las diatomitas de tambillo, quicapata y la moya-cuenca ayacucho [artículo presentado en congreso]. (Pág. 17 y 19.)
- Rincón, JM & Romero, M (2000). Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción basis and classification of efflorescences in construction bricks. *Materiales de construcción*, 50(260). (Pág. 25.)
- Ríos, RR (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. Servicios Académicos Intercontinentales S.L. (Pág. 27.)
- Rodríguez, G. (2016). Conductividad térmica efectiva en cerámicas porosas. *Respuestas*, 21(2):92–102. (Pág. 11.)
- Rodríguez, KM (2010). *Estudio técnico económico de la introducción del carbonato de calcio como aditivo fundente en el proceso de fabricación de ladrillos huecos en el Combinado de Cerámica Roja Sergio Soto de Manicaragua*. PhD thesis, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. (Pág. 16.)
- Rohsenow, WM, Hartnett, JP, Cho, YI, et al. (1998). *Handbook of heat transfer*, volume 3. McGraw-Hill New York. (No citado.)
- Saldarriaga, DS (2009). *Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomitas de San Juan, Argentina*. PhD thesis, Universidad de Piura, Fac. de Ingeniería. (Pág. 11, 25, 26 y 29.)
- San Bartolomé, A., Quiun, D., & Silva, W. (2014). *Diseño y construcciones de estructuras sísmoresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. (Pág. 29.)
- Santos, J., Malagón, P., & Córdoba, E. (2011). Caracterización de arcillas y prepa-

- ración de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de barichara, santander. 78(167):50–58. Dyna. (Pág. 12.)
- Santos, M. (2018). *Diseño y elaboración de bloques de termoarcilla*. Tesis para optar el título de ingeniera civil. (Pág. xvii.)
- Suma, S., Gutierrez, J., & Suma, R. (2008). *Estudio definitivo de tipo de horno apropiado para el sector ladrillero*. CONAM. (Pág. 11.)
- Supo, J. (2014). Metodología de la investigación científica. *Amazon, Bioestadístico.com, Lima*. (Pág. 28.)
- Verdeja, L., García, M., & Pastor, R. (1992). Contribución al estudio de las diatomitas del Perú. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 31 (5). (Pág. 17 y 19.)
- Verdusch, A. (1963). Roturas en ladrillos por inclusiones de caliza. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2(4):253–271. (Pág. 20.)
- Winkler, von HGF (1954). Bedeutung der Korngrößenverteilung und des Mineralbestandes von Tonen für die Herstellung grobkeramischer Erzeugnisse. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*, 31(10):337–343. (Pág. 20.)
- Zea, N (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. *Título de ingeniero civil*. Guatemala, universidad de san Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf. (Pág. 23.)
- Zúñiga, A (2018). *Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid. (Pág. 10.)

A

Anexo

A.1 Resistencia a la compresión de ladrillos

Tabla A.1: Resistencia a la compresión de ladrillos con adición de diatomita.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga Max (kN)	Resistencia f_b (Kg/cm ²)
1	L-D0-1	0	208.5	112.3	83.5	2780	234.15	172.6	75.17
2	L-D0-2	0	208.1	112.0	85.0	2805	233.07	171.5	75.03
3	L-D0-3	0	204.1	109.0	82.0	2649	222.47	214.5	98.32
4	L-D0-4	0	208.5	112.0	85.2	2783	233.52	142.7	62.31
5	L-D0-5	0	207.4	112.8	84.0	2764	233.95	128.6	56.05
6	L-D10-1	10	209.0	111.9	85.0	2636	233.87	185.1	80.71
7	L-D10-2	10	206.0	111.0	85.3	2624	228.66	189.8	84.64
8	L-D10-3	10	203.1	109.0	84.0	2684	221.38	214.3	98.71
9	L-D10-4	10	206.0	110.0	85.6	2666	226.60	185.1	83.30
10	L-D10-5	10	204.3	108.5	84.0	2661	221.67	187.6	86.30
11	L-D20-1	20	202.0	109.0	82.0	2513	220.18	163.8	75.86
12	L-D20-2	20	204.9	110.0	83.5	2498	225.39	182.3	82.48
13	L-D20-3	20	202.0	108.5	84.0	2498	219.17	212.7	98.96
14	L-D20-4	20	204.0	110.3	84.2	2457	225.01	183.3	83.07
15	L-D20-5	20	201.7	103.5	83.3	2522	208.76	199.8	97.60
16	L-D30-1	30	204.0	109.4	81.5	2295	223.18	71.4	32.62
17	L-D30-2	30	202.4	109.2	80.5	2247	221.02	142.2	65.61
18	L-D30-3	30	201.2	108.3	82.9	2305	217.90	173.5	81.19
19	L-D30-4	30	203.1	111.2	82.3	2316	225.85	196.9	88.90
20	L-D30-5	30	201.7	109.2	82.4	2272	220.26	96.4	44.63
21	L-D30-6	30	201.5	107.8	80.3	2296	217.22	165.3	77.60

Tabla A.2: Resistencia a la compresión de ladrillos sin adición de diatomita de acuerdo a su ubicación en el horno.

N	Cód.	Ubicación en el horno	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga Max (kN)	Resistencia f_b (Kg/cm ²)
1	L-B-1	Bottom	209.1	106.0	84.3	2885	221.65	178.0	81.89
2	L-B-2	Bottom	210.4	113.5	84.5	2844	238.80	147.5	62.98
3	L-B-3	Bottom	210.2	113.6	81.2	2679	238.79	166.5	71.10
4	L-B-4	Bottom	208.5	111.1	87.6	2720	231.64	205.5	90.46
5	L-B-5	Bottom	211.2	112.5	86.9	2674	237.60	189.3	81.24
6	L-M-1	Middle	210.0	111.5	86.0	2847	234.15	157.1	68.42
7	L-M-2	Middle	210.5	111.4	85.5	2637	234.50	146.7	63.79
8	L-M-3	Middle	208.1	112.4	98.5	2931	233.90	204.0	88.93
9	L-M-4	Middle	210.1	111.0	81.3	2904	233.21	187.3	81.90
10	L-M-5	Middle	208.9	112.1	86.3	2850	234.18	181.4	78.99
11	L-T-1	Top	208.5	112.3	83.5	2780	234.15	172.6	75.17
12	L-T-2	Top	208.1	112.0	85.0	2805	233.07	171.5	75.03
13	L-T-3	Top	204.1	109.0	82.0	2649	222.47	224.5	102.90
14	L-T-4	Top	208.5	112.0	85.2	2783	233.52	142.7	62.31
15	L-T-5	Top	207.4	112.8	84.0	2764	233.95	128.6	56.05

A.2 Resistencia a la compresión de probetas

Tabla A.3: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 750 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (Kg/cm ²)
1	P-D0-750-13	0	35.00	34.95	37.15	1223.25	5.4	45.02
2	P-D0-750-4	0	35.00	35.10	36.45	1228.50	4.2	34.86
3	P-D0-750-15	0	35.30	35.15	36.65	1240.80	4.2	34.52
4	P-D0-750-16	0	35.15	35.75	36.70	1256.61	5.2	42.20
5	P-D0-750-17	0	35.25	35.25	37.30	1242.56	3.6	29.54
6	P-D10-750-2	10	35.00	34.75	36.40	1216.25	5.3	44.44
7	P-D10-750-10	10	35.10	35.05	36.85	1230.26	4.4	36.47
8	P-D10-750-11	10	34.90	34.90	37.40	1218.01	4.6	38.51
9	P-D10-750-14	10	35.05	35.35	36.50	1239.02	4.3	35.39
10	P-D10-750-16	10	35.05	34.70	37.25	1216.24	4.8	40.24
11	P-D20-750-1	20	34.95	34.65	36.15	1211.02	5.3	44.63
12	P-D20-750-3	20	34.80	34.70	37.15	1207.56	4.3	36.31
13	P-D20-750-5	20	34.75	34.55	36.20	1200.61	4.5	38.22
14	P-D20-750-10	20	34.55	34.60	36.40	1195.43	4.3	36.68
15	P-D20-750-19	20	34.65	34.65	36.75	1200.62	4.0	33.97
16	P-D30-750-7	30	34.75	34.70	36.55	1205.83	4.6	38.90
17	P-D30-750-8	30	34.75	34.85	36.20	1211.04	4.9	41.26
18	P-D30-750-10	30	34.55	35.00	36.70	1209.25	4.2	35.42
19	P-D30-750-14	30	34.75	34.60	36.05	1202.35	3.7	31.38
20	P-D30-750-17	30	34.80	34.65	36.55	1205.82	4.2	35.52

Tabla A.4: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 850 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (Kg/cm ²)
1	P-D0-850-7	0	35.05	34.70	36.15	1216.24	5.7	47.79
2	P-D0-850-8	0	35.00	35.00	36.80	1225.00	5.0	41.62
3	P-D0-850-14	0	34.85	34.90	36.85	1216.27	4.4	36.89
4	P-D0-850-20	0	34.75	34.75	36.20	1207.56	5.9	49.82
5	P-D0-850-9	0	34.55	34.90	36.20	1205.80	5.3	44.82
6	P-D10-850-1	10	34.65	34.85	36.20	1207.55	5.3	44.76
7	P-D10-850-2	10	34.65	34.90	36.35	1209.29	5.7	48.06
8	P-D10-850-3	10	34.75	34.65	36.60	1204.09	6.3	53.35
9	P-D10-850-9	10	34.55	34.80	36.15	1202.34	5.0	42.41
10	P-D10-850-19	10	34.55	34.90	36.20	1205.80	6.0	50.74
11	P-D20-850-1	20	34.40	34.55	36.40	1188.52	5.6	48.05
12	P-D20-850-7	20	34.75	34.45	36.15	1197.14	6.5	55.37
13	P-D20-850-10	20	34.55	34.40	36.25	1188.52	5.6	48.05
14	P-D20-850-19	20	35.50	34.65	36.60	1230.08	5.3	43.94
15	P-D20-850-20	20	34.50	34.40	36.05	1186.80	5.8	49.83
16	P-D30-850-7	30	34.75	34.75	36.45	1207.56	5.1	43.07
17	P-D30-850-8	30	34.55	34.55	36.40	1193.70	5.3	45.28
18	P-D30-850-16	30	34.70	34.65	36.00	1202.36	5.3	44.95
19	P-D30-850-17	30	34.50	34.70	36.35	1197.15	5.1	43.44
20	P-D30-850-18	30	35.55	34.65	36.20	1231.81	5.0	41.39

Tabla A.5: Resistencia a la compresión de probetas cocidas a 950 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (Kg/cm ²)
1	P-D0-950-7	0	34.90	34.70	36.85	1211.03	6.0	50.52
2	P-D0-950-30	0	34.55	34.85	36.70	1204.07	6.1	51.66
3	P-D0-950-33	0	34.65	34.70	36.15	1202.36	5.3	44.95
4	P-D0-950-42	0	34.50	34.60	36.45	1193.70	6.7	57.23
5	P-D0-950-2	0	34.65	34.70	36.85	1202.36	6.0	50.89
6	P-D10-950-1	10	34.75	34.75	36.75	1207.56	6.8	57.42
7	P-D10-950-8	10	34.55	34.55	36.75	1193.70	5.8	49.55
8	P-D10-950-10	10	34.50	34.60	36.55	1193.70	6.9	58.94
9	P-D10-950-12	10	34.75	34.65	36.80	1204.09	6.2	52.51
10	P-D10-950-14	10	34.50	34.55	36.20	1191.98	5.8	49.62
11	P-D20-950-4	20	34.30	34.35	36.80	1178.21	6.5	56.26
12	P-D20-950-10	20	34.40	34.35	36.75	1181.64	6.9	59.54
13	P-D20-950-11	20	34.30	34.25	36.05	1174.78	6.9	59.89
14	P-D20-950-12	20	34.45	34.40	36.00	1185.08	7.7	66.26
15	P-D20-950-16	20	34.25	34.50	36.10	1181.63	7.1	61.27
16	P-D30-950-4	30	34.45	34.30	36.75	1181.64	6.7	57.82
17	P-D30-950-7	30	34.10	34.25	36.20	1167.93	6.8	59.37
18	P-D30-950-10	30	34.40	34.25	36.80	1178.20	5.6	48.47
19	P-D30-950-12	30	34.35	34.40	36.00	1181.64	6.0	51.78
20	P-D30-950-14	30	34.40	34.30	36.04	1179.92	5.3	45.80

A.3 Absorción de ladrillos

Tabla A.6: Porcentaje de absorción de ladrillos con adición de diatomita.

N	Cód.	Diatomita (%)	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
1	L-D0-6	0	2776	3349	20.64
2	L-D0-8	0	2777	3277	18.01
3	L-D0-24	0	2747	3306	20.35
4	L-D0-03	0	2845	3393	19.26
5	L-D0-16	0	2800	3341	19.32
6	L-D0-17	0	2838	3413	20.26
7	L-D10-04	10	2671	3244	21.45
8	L-D10-14	10	2652	3231	21.83
9	L-D10-18	10	2648	3199	20.81
10	L-D10-06	10	2663	3175	19.23
11	L-D10-08	10	2663	3179	19.38
12	L-D10-01	10	2638	3143	19.14
13	L-D20-06	20	2466	3041	23.32
14	L-D20-08	20	2523	3199	26.79
15	L-D20-22	20	2518	3032	20.41
16	L-D20-12	20	2490	3040	22.09
17	L-D20-15	20	2496	3073	23.12
18	L-D20-23	20	2528	3048	20.57
19	L-D20-24	20	2493	3053	22.46
20	L-D30-03	30	2310	2927	26.71
21	L-D30-05	30	2274	2838	24.80
22	L-D30-06	30	2277	2873	26.17
23	L-D30-13	30	2280	2896	27.02
24	L-D30-02	30	2280	2837	24.43
25	L-D30-23	30	2338	2957	26.48

Tabla A.7: Porcentaje de absorción de ladrillos sin adición de diatomita y según su ubicación en el horno. *Continúa en la página siguiente.*

N	Cód.	Ubicación en el horno	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
1	L-B-1	Bottom	2697	3277	21.51
2	L-B-2	Bottom	2694	3253	20.75
3	L-B-3	Bottom	2870	3419	19.13
4	L-B-11	Bottom	2551	3122	22.38
5	L-B-12	Bottom	2673	3226	20.69
6	L-B-10	Bottom	2711	3263	20.36

Tabla A.8: Porcentaje de absorción de ladrillos sin adición de diatomita y según su ubicación en el horno. *Viene de página anterior.*

N	ID	Ubicación en el horno	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
7	L-M-1	Middle	2862	3417	19.39
8	L-M-2	Middle	2801	3344	19.39
9	L-M-11	Middle	2842	3364	18.37
10	L-M-12	Middle	2652	3226	21.64
11	L-M-13	Middle	2782	3350	20.42
12	L-M-10	Middle	2612	3112	19.14
13	L-T-1	Top	2644	3251	22.96
14	L-T-2	Top	2709	3253	20.08
15	L-T-3	Top	2651	3274	23.50
16	L-T-12	Top	2639	3219	21.98
17	L-T-11	Top	2631	3245	23.34
18	L-T-10	Top	2665	3190	19.70
19	L-T-14	Top	2729	3219	17.96

A.4 Absorción de probetas

Tabla A.9: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 750 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
1	P-D0-750-6	0	67.7	81.8	20.83
2	P-D0-750-9	0	65.9	79.5	20.64
3	P-D0-750-10	0	66.7	80.5	20.69
4	P-D0-750-12	0	66.7	80.3	20.39
5	P-D0-750-14	0	66.2	80.3	21.30
6	P-D10-750-4	10	63.8	78.5	23.04
7	P-D10-750-6	10	63.8	78.1	22.41
8	P-D10-750-7	10	62.7	77.2	23.13
9	P-D10-750-9	10	63.8	78.9	23.67
10	P-D10-750-12	10	63.2	78.1	23.58
11	P-D20-750-4	20	60.8	76.3	25.49
12	P-D20-750-7	20	60.9	76.4	25.45
13	P-D20-750-11	20	60.8	75.8	24.67
14	P-D20-750-16	20	61.3	77.0	25.61
15	P-D20-750-18	20	60.4	75.6	25.17
16	P-D30-750-1	30	57.5	74.1	28.87
17	P-D30-750-3	30	56.9	73.5	29.17
18	P-D30-750-9	30	57.6	74.2	28.82
19	P-D30-750-11	30	57.3	74.2	29.49
20	P-D30-750-13	30	57.2	73.7	28.85

Tabla A.10: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 850 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
1	P-D0-850-3	0	64.4	78.1	21.27
2	P-D0-850-13	0	65.6	79.4	21.04
3	P-D0-850-15	0	66.9	81.1	21.23
4	P-D0-850-17	0	64.5	78.5	21.71
5	P-D0-850-19	0	65.3	79.5	21.75
6	P-D10-850-4	10	63.2	77.7	22.94
7	P-D10-850-10	10	62.6	77.2	23.32
8	P-D10-850-14	10	63	77.2	22.54
9	P-D10-850-15	10	61.5	75.9	23.41
10	P-D10-850-16	10	63.7	78.6	23.39
11	P-D20-850-6	20	60.4	75.2	24.50
12	P-D20-850-9	20	60.4	75.1	24.34
13	P-D20-850-14	20	60.4	75.2	24.50
14	P-D20-850-17	20	60.0	75.2	25.33
15	P-D20-850-2	20	59.2	74.4	25.68
16	P-D30-850-2	30	56.0	71.8	28.21
17	P-D30-850-3	30	55.8	71.8	28.67
18	P-D30-850-5	30	55.8	71.8	28.67
19	P-D30-850-12	30	55.8	71.7	28.49
20	P-D30-850-13	30	55.7	71.6	28.55

Tabla A.11: Porcentaje de absorción de probetas cocidas a 950 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Peso seco (g)	Peso mojado (g)	Absorción (%)
1	P-D0-950-18	0	64.7	78.1	20.71
2	P-D0-950-19	0	63.9	77.1	20.66
3	P-D0-950-23	0	64.8	77.8	20.06
4	P-D0-950-28	0	64.4	77.8	20.81
5	P-D0-950-36	0	65.0	78.6	20.92
6	P-D10-950-5	10	62.3	76.5	22.79
7	P-D10-950-6	10	61.7	75.7	22.69
8	P-D10-950-11	10	62.6	76.5	22.20
9	P-D10-950-16	10	62.5	76.4	22.24
10	P-D10-950-18	10	62.1	76.5	23.19
11	P-D20-950-1	20	58.8	73.4	24.83
12	P-D20-950-5	20	58.8	73.4	24.83
13	P-D20-950-7	20	58.8	73.4	24.83
14	P-D20-950-9	20	59.2	73.4	23.99
15	P-D20-950-14	20	59.7	74.0	23.95
16	P-D30-950-6	30	56.2	71.4	27.05
17	P-D30-950-8	30	56.3	71.5	27.00
18	P-D30-950-11	30	56.3	71.9	27.71
19	P-D30-950-17	30	55.8	71.3	27.78
20	P-D30-950-20	30	55.9	71.3	27.55

A.5 Succión normalizada de Ladrillos

Tabla A.12: Succión normalizada de ladrillos con adición de diatomita.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Área (cm ²)	Succión (gr/200 cm ² -min)
1	L-D0-9	0	207.6	111.4	2768	2930	231.3	140.1
2	L-D0-13	0	206.1	110.0	2752	2923	226.7	150.9
3	L-D0-18	0	209.1	113.4	2808	2971	237.1	137.5
4	L-D0-16	0	205.9	111.4	2800	2962	229.4	141.3
5	L-D0-17	0	208.2	111.9	2838	3014	233.0	151.1
6	L-D0-06	0	208.2	112.0	2777	2953	233.2	151.0
7	L-D0-08	0	206.5	110.1	2776	2954	227.4	156.6
8	L-D0-24	0	216.3	111.5	2750	2925	241.2	145.1
9	L-D10-22	10	203.9	110.1	2604	2756	224.5	135.4
10	L-D10-11	10	203.3	109.6	2643	2786	222.8	128.4
11	L-D10-21	10	206.5	111.9	2664	2805	231.1	122.0
12	L-D10-06	10	203.8	108.3	2663	2817	220.7	139.5
13	L-D10-08	10	203.4	109.3	2663	2815	222.3	136.7
14	L-D10-01	10	201.4	108.2	2638	2794	217.9	143.2
15	L-D10-04	10	204.7	112.2	2673	2850	229.7	154.1
16	L-D10-14	10	207.2	109.7	2655	2815	227.3	140.8
17	L-D10-18	10	204.4	110.4	2650	2811	225.7	142.7
18	L-D20-11	20	203.4	110.1	2523	2658	223.9	120.6
19	L-D20-20	20	203.9	110.1	2466	2619	224.5	136.3
20	L-D20-21	20	204.3	109.3	2539	2686	223.3	131.7
21	L-D20-08	20	201.4	106.8	2525	2678	215.1	142.3
22	L-D20-22	20	203.0	107.3	2519	2692	217.8	158.8
23	L-D20-15	20	202.8	109.1	2496	2652	221.3	141.0
24	L-D20-12	20	203.0	108.6	2490	2638	220.5	134.3
25	L-D20-24	20	206.6	110.1	2493	2673	227.5	158.3
26	L-D30-10	30	202.0	108.6	2281	2417	219.4	124.0
27	L-D30-22	30	203.1	110.1	2303	2452	223.6	133.3
28	L-D30-18	30	200.5	109.6	2286	2430	219.7	131.1
29	L-D30-13	30	203.8	108.4	2280	2434	220.9	139.4
30	L-D30-02	30	201.1	108.6	2280	2430	218.4	137.4
31	L-D30-23	30	201.7	109.9	2338	2525	221.7	168.7
32	L-D30-03	30	203.7	109.6	2310	2469	223.3	142.4
33	L-D30-05	30	200.5	108.7	2272	2429	217.9	144.1
34	L-D30-06	30	208.0	108.1	2277	2431	224.8	137.0

Tabla A.13: Succión normalizada de ladrillos sin diatomita según su ubicación.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Área (cm ²)	Succión (gr/200 cm ² -min)
1	L-B-1	Bottom	211.4	113.7	2715	2895	240.4	149.8
2	L B-2	Bottom	209.6	113.4	2658	2832	237.7	146.4
3	L-B-3	Bottom	206.2	112.0	2736	2883	230.9	127.3
4	L-B-11	Bottom	206.0	111.0	2551	2724	228.7	151.3
5	L-B-12	Bottom	208.2	110.9	2673	2853	230.9	155.9
6	L-B-10	Bottom	209.9	112.0	2711	2907	235.1	166.7
7	L B-22	Bottom	209.0	110.5	2728	2902	230.9	150.7
8	L-B-23	Bottom	208.1	113.3	2907	3077	235.8	144.2
9	L-B-24	Bottom	208.1	113.3	2580	2794	235.8	181.5
10	L-M-1	Middle	212.0	112.9	2618	2815	239.3	164.6
11	L-M-2	Middle	208.6	110.4	2610	2796	230.3	161.5
12	L-M-3	Middle	211.6	112.7	2594	2775	238.5	151.8
13	L-M-11	Middle	208.5	112.0	2842	3050	233.5	178.1
14	L-M-13	Middle	206.2	115.3	2782	2978	237.7	164.9
15	L-M-10	Middle	205.4	110.2	2612	2786	226.4	153.7
16	L-M-12	Middle	208.9	108.5	2652	2836	226.7	162.4
17	L-M-21	Middle	213.8	113.1	2861	3074	241.8	176.2
18	L-M-22	Middle	209.2	112.8	2806	3002	236.0	166.1
19	L-T-1	Top	210.7	113.4	2902	3082	238.9	150.7
20	L-T-2	Top	209.1	113.6	2817	2984	237.5	140.6
21	L-T-3	Top	209.1	112.2	2685	2845	234.6	136.4
22	L-T-4	Top	210.0	113.3	2839	3006	237.9	140.4
23	L-T-5	Top	210.1	113.2	2869	3048	237.8	150.5
24	L-T-12	Top	208.0	112.9	2639	2837	234.8	168.6
25	L-T-22	Top	206.8	113.6	2743	2913	234.9	144.7
26	L-T-23	Top	206.2	112.5	2674	2868	232.0	167.3

A.6 Succión normalizada de probetas

Tabla A.14: Succión normalizada de probetas cocidas a 750 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Succión (gr/200 cm ² -min)
1	P-D0-750-6	0	35.30	35.45	1251.39	67.7	70.6	46.35
2	P-D0-750-9	0	35.00	34.85	1219.75	65.9	68.8	47.55
3	P-D0-750-10	0	35.10	35.10	1232.01	66.7	69.6	47.08
4	P-D0-750-12	0	35.10	35.00	1228.50	66.7	69.4	43.96
5	P-D0-750-14	0	35.25	35.20	1240.80	66.2	69.5	53.19
6	P-D10-750-4	10	34.70	34.85	1209.30	63.8	66.10	38.04
7	P-D10-750-6	10	34.70	35.05	1216.24	63.8	66.20	39.47
8	P-D10-750-7	10	34.85	35.05	1221.49	62.7	65.30	42.57
9	P-D10-750-9	10	34.75	35.10	1219.73	63.8	66.60	45.91
10	P-D10-750-12	10	35.35	35.15	1242.55	63.2	65.70	40.24
11	P-D20-750-4	20	34.75	34.85	1211.04	60.8	63.80	49.54
12	P-D20-750-7	20	35.10	34.80	1221.48	60.9	63.70	45.85
13	P-D20-750-11	20	34.85	34.70	1209.30	60.8	63.40	43.00
14	P-D20-750-16	20	35.35	35.90	1269.07	61.3	64.10	44.13
15	P-D20-750-18	20	34.90	34.70	1211.03	60.4	63.40	49.54
16	P-D30-750-1	30	35.05	34.90	1223.25	57.5	60.50	49.05
17	P-D30-750-3	30	34.70	34.75	1205.83	56.9	59.80	48.10
18	P-D30-750-9	30	34.65	34.70	1202.36	57.6	60.40	46.58
19	P-D30-750-11	30	34.60	34.90	1207.54	57.3	60.20	48.03
20	P-D30-750-13	30	34.60	34.70	1200.62	57.2	60.10	48.31

Tabla A.15: Succión normalizada de probetas cocidas a 850 °C.

N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Succión (gr/200 cm ² -min)
1	P-D0-850-3	0	34.90	34.45	1202.31	64.4	69.4	83.17
2	P-D0-850-13	0	34.95	34.75	1214.51	65.6	71.4	95.51
3	P-D0-850-15	0	34.65	35.00	1212.75	66.9	72.7	95.65
4	P-D0-850-17	0	35.00	35.00	1225.00	64.5	70.6	99.59
5	P-D0-850-19	0	34.85	34.90	1216.27	65.3	71.4	100.31
6	P-D10-850-4	10	35.75	35.55	1270.91	63.2	68.4	81.83
7	P-D10-850-10	10	34.90	34.45	1202.31	62.6	67.8	86.50
8	P-D10-850-14	10	34.45	34.85	1200.58	63	67.6	76.63
9	P-D10-850-15	10	35.00	34.90	1221.50	61.5	66.2	76.95
10	P-D10-850-16	10	35.35	35.00	1237.25	63.7	68.6	79.21
11	P-D20-850-6	20	34.45	34.55	1190.25	60.4	65.5	85.70
12	P-D20-850-9	20	34.45	34.65	1193.69	60.4	65.5	85.45
13	P-D20-850-14	20	34.65	34.80	1205.82	60.4	65.3	81.27
14	P-D20-850-17	20	34.65	34.40	1191.96	60.0	64.7	78.86
15	P-D20-850-2	20	34.40	34.60	1190.24	59.2	64.5	89.06
16	P-D30-850-2	30	34.60	34.45	1191.97	56.0	61.1	85.57
17	P-D30-850-3	30	34.65	34.35	1190.23	55.8	61.0	87.38
18	P-D30-850-5	30	34.60	34.40	1190.24	55.8	61.3	92.42
19	P-D30-850-12	30	34.30	34.60	1186.78	55.8	61.3	92.69
20	P-D30-850-13	30	34.75	34.50	1198.88	55.7	60.9	86.75

Tabla A.16: Succión normalizada de probetas cocidas a 950 °C.


N	Cód.	Diatomita (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Succión (gr/200 cm ² -min)
1	P-D0-950-18	0	34.60	34.70	1200.62	64.7	72.1	123.27
2	P-D0-950-19	0	34.90	35.00	1221.50	63.9	71.0	116.25
3	P-D0-950-23	0	34.75	34.55	1200.61	64.8	71.4	109.94
4	P-D0-950-28	0	34.65	34.80	1205.82	64.4	71.5	117.76
5	P-D0-950-36	0	34.90	34.70	1211.03	65.0	71.7	110.65
6	P-D10-950-5	10	34.70	34.65	1202.36	62.3	69.0	111.45
7	P-D10-950-6	10	35.00	34.85	1219.75	61.7	68.2	106.58
8	P-D10-950-11	10	34.65	34.75	1204.09	62.6	68.8	102.98
9	P-D10-950-16	10	39.60	34.45	1364.22	62.5	68.8	92.36
10	P-D10-950-18	10	34.70	34.40	1193.68	62.1	68.9	113.93
11	P-D20-950-1	20	34.85	34.80	1212.78	58.8	65.4	108.84
12	P-D20-950-5	20	34.35	34.45	1183.36	58.8	65.4	111.55
13	P-D20-950-7	20	34.55	34.45	1190.25	58.8	65.4	110.90
14	P-D20-950-9	20	34.25	34.30	1174.78	59.2	65.5	107.25
15	P-D20-950-14	20	34.40	34.15	1174.76	59.7	65.9	105.55
16	P-D30-950-6	30	34.35	34.25	1176.49	56.2	62.6	108.80
17	P-D30-950-8	30	34.10	34.40	1173.04	56.3	62.8	110.82
18	P-D30-950-11	30	34.30	34.35	1178.21	56.3	62.7	108.64
19	P-D30-950-17	30	34.35	34.30	1178.21	55.8	62.0	105.24
20	P-D30-950-20	30	34.35	34.40	1181.64	55.9	62.2	106.63

A.7 Resistencia a la compresión de pilas

Tabla A.17: Resistencia a compresión axial de pilas.

Cód.	L (mm)	A (mm)	H (mm)	Carga máx (kN)	Corrección por esbeltez	Corrección por 14 días	Resistencia f_m (kg/cm ²)
PILA-D0-1	205.1	110.6	289.1	79.8	0.822	1.05	31.0
PILA-D0-2	209.1	112.4	292.7	74.6	0.822	1.05	27.9
PILA-D0-3	202.5	111.0	290.0	72.6	0.822	1.05	28.4
PILA-D10-1	204.1	109.7	292.9	71.4	0.844	1.05	28.8
PILA-D10-2	204.0	110.1	294.7	79.0	0.844	1.05	31.8
PILA-D10-3	204.5	109.6	293.9	74.6	0.844	1.05	30.1
PILA-D20-1	202.3	107.2	294.4	80.3	0.844	1.05	33.5
PILA-D20-2	202.0	109.3	292.4	83.5	0.844	1.05	34.2
PILA-D20-3	203.1	109.3	291.5	92.5	0.844	1.05	37.7
PILA-D30-1	201.5	109.4	278.1	84.4	0.800	1.05	32.8
PILA-D30-2	202.5	108.4	286.0	86.7	0.822	1.05	34.8
PILA-D30-3	201.2	105.8	280.3	80.3	0.822	1.05	33.2

A.8 Cartilla de encuesta

 FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA PROFESIONAL INGENIERA CIVIL		Formato de encuesta sobre confort térmico de viviendas - Ayacucho 2018	Código: FOR-10 Emisión: 25-01-18 Revisión: 2
Tesista: BARRIENTOS ANDÍA, Irbin Ibrahim		Fecha: / /	
Encuestador:		Fecha: / /	
1. Edad:	_____		
2. Sexo:	_____		
3. Dirección de la vivienda	Jr./Av./Calle/Psje./Urb./otro: _____		
Distrito:	_____		
4. Ubicación de la vivienda:	<input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Entre dos viviendas o edificaciones <input type="checkbox"/> Aislada		
5. Número de pisos de la vivienda:	_____		
6. La fachada de la edificación es hacia el:	<input type="checkbox"/> Este <input type="checkbox"/> Oeste <input type="checkbox"/> Norte <input type="checkbox"/> Sur <input type="checkbox"/> Noreste <input type="checkbox"/> Noroeste <input type="checkbox"/> Sureste <input type="checkbox"/> Suroeste		
7. Antigüedad aproximada:	<input type="checkbox"/> Menos de 2 años <input type="checkbox"/> Entre 2 y 10 años <input type="checkbox"/> Más de 10 años		
8. Materiales de construcción de la vivienda:	Material de muros: <input type="checkbox"/> Ladrillo <input type="checkbox"/> Adobe Material del techo: <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Calamina <input type="checkbox"/> Teja Color de vidrio de ventanas: <input type="checkbox"/> Transparente <input type="checkbox"/> Oscuro		
9. Número de piso en el que vives	_____		
10. ¿Cuántas personas ocupan la habitación más ocupada?	_____		
11. Consideras que tu vivienda es:	<input type="checkbox"/> Calurosa <input type="checkbox"/> Fresca <input type="checkbox"/> fría <input type="checkbox"/> Siempre es calurosa <input type="checkbox"/> Nunca es calurosa <input type="checkbox"/> Siempre es fría		
12. ¿En qué momento del día?	<input type="checkbox"/> En la mañana <input type="checkbox"/> En la tarde <input type="checkbox"/> En la noche		
13. ¿En qué lugar especialmente?	<input type="checkbox"/> Sala <input type="checkbox"/> Dormitorio <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input type="checkbox"/> Comedor <input type="checkbox"/> Cocina		
14. ¿En qué piso de la vivienda lo sientes más?	<input type="checkbox"/> Primer piso <input type="checkbox"/> Segundo piso <input type="checkbox"/> Tercer piso <input type="checkbox"/> Cuarto piso <input type="checkbox"/> Quinto piso <input type="checkbox"/> Otro: _____		
15. ¿En algún momento, el sol da directamente a tu fachada?	<input type="checkbox"/> Mañana <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> No da		
16. ¿En algún momento, el sol da directamente a tu habitación?	<input type="checkbox"/> Mañana <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> No da		
17. ¿Al interior de tu casa, sientes corriente de aire?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
18. ¿En qué lugar es mayor esta ventilación?	<input type="checkbox"/> Sala <input type="checkbox"/> Dormitorio <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input type="checkbox"/> Comedor <input type="checkbox"/> Cocina		
19. ¿A qué horas?	<input type="checkbox"/> Mañana <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> No da <input type="checkbox"/> Siempre <input type="checkbox"/> Nunca		
20. Los vientos en tu barrio son:	<input type="checkbox"/> Fuertes <input type="checkbox"/> Suaves <input type="checkbox"/> No se siente / Nulo		
21. ¿Qué haces normalmente para mejorar el clima interior de tu vivienda?	<input type="checkbox"/> Solo abro puertas y/o ventanas <input type="checkbox"/> Uso ventilador <input type="checkbox"/> Solo cierro puertas y/o ventanas <input type="checkbox"/> Uso calefacción <input type="checkbox"/> Uso aire acondicionado <input type="checkbox"/> No hago nada <input type="checkbox"/> Otros _____		
22. ¿Logra mejorar el clima al interior de tu vivienda?	<input type="checkbox"/> Totalmente <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Nada		
23. ¿Has realizado alguna refacción a tu vivienda para mejorar el clima interior?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Cuál: _____ <input type="checkbox"/> No		
24. ¿Piensas realizar en el futuro alguna refacción para mejorar el clima interior?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Cuál: _____ <input type="checkbox"/> No		
25. ¿Tiene patio? (ambientes sin techar)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
26. Si la respuesta es Sí, ¿cómo es tu patio?	<input type="checkbox"/> Solo tiene jardín <input type="checkbox"/> Está parcialmente cubierto de jardín <input type="checkbox"/> Solo tiene una losa <input type="checkbox"/> Está techado y solamente entra luz		
27. ¿Tienes plantas al interior de tu vivienda?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
28. ¿Hay parques o zonas públicas con vegetación cercanas a vivienda?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
29. Si la respuesta es Sí, ¿considera que tiene abundante vegetación?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
30. En el interior de tu casa, ¿se escuchan los ruidos de la calle?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
31. Desde tu habitación, ¿escuchas los sonidos de las habitaciones contiguas?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
32. En términos generales, ¿te parece una buena vivienda desde el punto de vista de confort térmico y acústico?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> No		

A.9 Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN.						
BARRIENTOS ANDÍA IREIN IBRAHIM						
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN.					
AUTOR:	BARRIENTOS ANDÍA IREIN IBRAHIM					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MEDICIÓN	RANGO
PRINCIPAL	Evaluar la influencia de la adición de diatomita y la variación de la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho.	La adición de diatomita y la variación de la temperatura, influye en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales fabricados en la región Ayacucho.	Independiente (X): X: Adición de Diatomita Dependiente (Y): Y: Propiedades físicas del ladrillo artesanal. Y: Propiedades mecánicas del ladrillo artesanal.	Cantidad de diatomita. Granulometría Temperatura máxima de cocción Densidad Absorción Succión Conductividad térmica. Resistencia	%Vol mm °C g/cm3 % W/(m·K) Kg/cm2	10%, 20%, 30% < 1 mm 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C
Secundario 1	¿Cómo influye la adición de diatomita en proporciones de 10%, 20% y 30% sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?	Analizar la influencia de la adición de diatomita en proporciones del 10%, 20% y 30% sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho.	X: Adición de Diatomita Y: Propiedades físicas del ladrillo artesanal. Y: Propiedades mecánicas del ladrillo artesanal.	Cantidad de diatomita. Granulometría Variación dimensional Alabeo Contracción Densidad Absorción Succión Conductividad térmica. Resistencia	%Vol mm % % % g/cm3 % W/(m·K) Kg/cm2	10%, 20%, 30% < 0.25 mm
Secundario 2	¿De qué manera varía la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho, si se le adiciona diatomita en 10%, 20% y 30%?	Evaluar la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho cuando se adiciona diatomita en 10%, 20% y 30%.	Las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales sufrirán mayores cambios en la medida en que se aumente diatomita.			
Secundario 3	¿Cómo influye la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?	Evaluar la influencia de la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho.	Al elevar la temperatura de cocción de los ladrillos artesanales, se modificarán sus propiedades físicas.	Temperatura máxima de cocción Variación dimensional Alabeo Contracción Densidad Absorción Succión Conductividad térmica. Resistencia	°C % % % g/cm3 % W/(m·K) Kg/cm2	750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C
Secundario 4	¿Cómo influye la temperatura de cocción en la resistencia de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho?	Evaluar la resistencia de los ladrillos artesanales al ser sometidos a diferentes temperaturas de cocción.	La temperatura de cocción influirá en el comportamiento mecánico de los ladrillos artesanales de la región Ayacucho	Temperatura máxima de cocción Variación dimensional Alabeo Contracción Densidad Absorción Succión Conductividad térmica. Resistencia	°C % % % g/cm3 % W/(m·K) Kg/cm2	750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C
					Método: Se realiza bajo un enfoque cuantitativo del tipo aplicada porque se manipularán las variables. Alcance: Alcance a ladrillos artesanales fabricados en la comunidad de Compañía y usando diatomitas de la cantera Moya. Diseño de investigación Es del tipo experimental y se tomó como base el modelo factorial de efectos fijos ANOVA con manejo de dos variables experimentales en condiciones controladas. Muestra: Los objetos de estudio serán 216 probetas cilíndricas de 1.5" x 1.5" x 1.5", 72 probetas de 7.5cm x 3.5cm x 2cm, 20 probetas de 10cm x 10cm x 1cm fabricadas a escala de laboratorio y 100 ladrillos artesanales con adición de diatomita fabricadas en la comunidad de Compañía. Técnicas e instrumentos Se realizó de acuerdo a las pruebas estandarizadas detalladas en las NTP E.070 y ASTM C177-13 e investigaciones de Cultrone, Saldarraga, San Bartolomé, COSUDE.	

**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 032-2022-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : BARRIENTOS ANDÍA, Irbin Ibrahim
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN
Evaluación de la Originalidad : 9 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 1881072484

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 11 de junio del 2022

Firmado
digitalmente por
LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
de la FIMGC

Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN”

por Irbin Ibrahim Barrientos Andía

Fecha de entrega: 10-ago-2022 12:47p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1881072484

Nombre del archivo: Tesis_IRBIN_IBRAHIM_BARRIENTOS_AND_A_EPIC.pdf (56.13M)

Total de palabras: 31695

Total de caracteres: 148426

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ARTESANALES DE LA REGIÓN AYACUCHO FABRICADOS CON ADICIÓN DE DIATOMITA Y A DIFERENTES TEMPERATURAS DE COCCIÓN”

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Bocconi University Trabajo del estudiante	1%
4	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%

8	1library.co Fuente de Internet	<1 %
9	revistas.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	www1.inei.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
12	www.thoratec.com Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo