

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Determinación de la conductividad térmica de ladrillos  
utilizando vidrio reciclado para zonas alto andinas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:  
Yenifer Lisbeth Huachaca Cuti

Asesor:  
Ing. Herson Duberly Pari Cusi

**Juliaca, agosto del 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

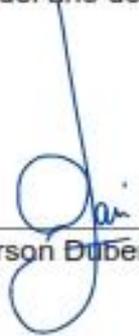
Ing. Herson Duberly Pari Cusi, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTO ANDINAS" constituye la memoria que presenta la Bachiller Yenifer Iisbeth Huachaca Cuti para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuyo proyecto ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 14, agosto del año del 2020

  
Ing. Herson Duberly Pari Cusi



091

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 14 día(s) del mes de agosto del año 2020 siendo las 09:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSc. Fernán Henry Centurión Julea, el secretario: Mg. Efraim Velazquez Mamani y los demás miembros: Ing. Juana Beatriz Aquire Pari, Ing. Rina Luz Mari Sampara Bicono y el asesor: Ing. Herson Duberly Pari Cusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Determinación de la conductividad térmica de ladrillos utilizando vidrio reciclado para zonas alto andinas" de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Jenifer Lisbeth Shuachaca Cuti b) ..... conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil (Nombre del Título Profesional)

con mención en..... El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Jenifer Lisbeth Shuachaca Cuti

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

### **Dedicatoria**

Dedico el presente proyecto de investigación:

A Dios, porque todo lo logrado fue por su voluntad, por brindarme fuerza, paciencia e inteligencia para poder afrontar los desafíos que el proyecto de tesis conlleva.

A mi madre, hermano y abuela por ser ese apoyo en los momentos más complicados y por ser el motor y motivo de todo mi esfuerzo.

### **Agradecimiento**

En primer lugar, a Dios, por haber guiado cada uno de mis pasos en la elaboración de mi proyecto de tesis, por haberme puesto en el camino a personas que me extendieron la mano cuando más necesitaba y por haberme llenado de bendiciones financieras para poder ejecutar la tesis.

A mi madre, hermano y abuela por el apoyo incondicional, las oraciones y la ayuda económica, ya que sin ello nada de esto hubiera sido posible.

A la empresa de ladrillos LATESA, al ingeniero Asención Aucapure, Marilia Cruz y René Sulca, por su apoyo en la fabricación de ladrillos, mi agradecimiento sincero hacia ellos.

## Índice general

RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA .....	18
1.1 Planteamiento del problema .....	18
1.1.1 Formulación del problema .....	19
1.2 Objetivos de la investigación .....	19
1.2.1 Objetivo General .....	19
1.2.2 Objetivos Específicos .....	19
1.3 Justificación .....	20
1.3.1 Justificación técnica.....	20
1.3.2 Justificación económica.....	20
1.3.3 Justificación ambiental.....	20
1.3.4 Justificación social .....	21
1.4 Presuposición filosófica .....	21
CAPITULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	23
2.1 Antecedentes.....	23
2.2 Marco Normativo.....	28
2.2.1 Unidades de albañilería .....	28
2.3 Marco Conceptual.....	35
2.3.1 El ladrillo .....	35
2.3.2 El vidrio .....	46
2.3.3 El reciclaje.....	48
2.3.4 El traspaso y propagación del calor.....	50
2.4 Selección de la prueba estadística de acuerdo al tipo de variable.....	54
2.4.1 Prueba de hipótesis con la distribución ANOVA.....	56
2.4.2 Prueba de hipótesis con la distribución T de Student o Test-T.....	58
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	60
3.1 Metodología, tipo y nivel de investigación .....	60
3.1.1 Método de investigación .....	60
3.1.2 Tipo de investigación.....	60
3.1.3 Nivel de investigación.....	60
3.2 Formulación de hipótesis.....	61

3.2.1	Hipótesis general .....	61
3.2.2	Hipótesis específicas.....	61
3.3	Variable a observar en el desarrollo experimental .....	61
3.4	Proceso experimental .....	61
3.4.1	Flujograma para ejecución del proyecto de investigación .....	63
3.5	Diseño de la investigación.....	63
3.6	Cuantificación del número de muestras.....	64
3.7	Diseño de mezcla patrón.....	65
3.7.1	Ensayo a la materia prima.....	65
3.7.2	Resultados obtenidos para el diseño de mezcla .....	69
3.7.3	Dosificación del polvo de vidrio en la materia prima .....	78
3.8	Fabricación de ladrillos con adición de vidrio.....	80
3.9	Ensayos clasificatorios y no clasificatorios .....	85
3.9.1	Ensayos clasificatorios a la unidad de albañilería .....	86
3.9.2	Ensayos no clasificatorios a la unidad de albañilería .....	91
3.9.3	Ensayo a la resistencia característica de la albañilería .....	101
3.9.4	Conductividad térmica.....	104
3.10	Resultados .....	107
3.10.1	Ensayos clasificatorios.....	107
3.10.2	Ensayos no clasificatorios .....	115
3.10.3	Ensayo a la resistencia característica de la albañilería.....	125
3.10.4	Ensayo de conductividad térmica.....	125
3.11	Análisis final de la unidad de los diferentes diseños de mezcla .....	127
3.12	Prueba de hipótesis.....	129
3.12.1	Prueba de hipótesis N°01 .....	129
3.12.2	Prueba de hipótesis N°02.....	138
3.12.3	Prueba de hipótesis N°03.....	139
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		141
4.1	Prueba de hipótesis N°01 .....	141
4.1.1	Prueba de hipótesis de variación dimensional.....	141
4.1.2	Prueba de hipótesis de alabeo .....	141
4.1.3	Prueba de hipótesis de porcentaje de vacíos .....	142
4.1.4	Prueba de hipótesis de absorción.....	142

4.1.5	Prueba de hipótesis de absorción máxima.....	143
4.1.6	Prueba de hipótesis de densidad.....	143
4.1.7	Prueba de hipótesis de succión.....	144
4.1.8	Prueba de hipótesis de resistencia a compresión.....	144
4.1.9	Prueba de hipótesis de compresión diagonal en muretes .....	144
4.1.10	Prueba de hipótesis de eflorescencia.....	145
4.2	Prueba de hipótesis N°02.....	145
4.3	Prueba de hipótesis N°03.....	149
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		151
REFERENCIAS.....		157
ANEXOS.....		161

## Índice de tablas

Tabla 1	Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	28
Tabla 2	Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....	29
Tabla 3	Tipos de unidades de albañilería .....	29
Tabla 4	Requisitos complementarios (absorción y coeficiente de saturación).....	31
Tabla 5	Características higrométricas de los materiales de construcción .....	34
Tabla 6	Diseño experimental de variables .....	63
Tabla 7	Cuantificación de muestra por diseño.....	65
Tabla 8	Composición química para ladrillos (huecos y macizos).....	76
Tabla 9	Combinación para la mezcla optima de ladrillos .....	78
Tabla 10	Dosificación del polvo de vidrio con relación al peso del ladrillo.....	79
Tabla 11	Cálculo de la cantidad de polvo de vidrio por dosificación .....	85
Tabla 12	Resultados de la variación dimensional del DM0 .....	108
Tabla 13	Resultados de la variación dimensional del DM15 .....	108
Tabla 14	Resultados de la variación dimensional del DM20 .....	109
Tabla 15	Resultados de la variación dimensional del DM30 .....	109
Tabla 16	Resumen de variación dimensional de los diferentes diseños de mezcla.....	110
Tabla 17	Clasificación de las unidades de albañilería por su variación dimensional ...	110
Tabla 18	Resultado del alabeo del DM0 .....	110
Tabla 19	Resultado del alabeo del DM15 .....	111
Tabla 20	Resultado del alabeo del DM20 .....	111
Tabla 21	Resultado del alabeo del DM30 .....	112
Tabla 22	Resumen del alabeo de los diferentes diseños de mezcla .....	112
Tabla 23	Clasificación de la unidad de albañilería por su alabeo .....	113
Tabla 24	Resultado de la resistencia a compresión del DM0.....	113
Tabla 25	Resultado de la resistencia a compresión del DM15 .....	113
Tabla 26	Resultado de la resistencia a compresión del DM20 .....	114

Tabla 27	Resultado de la resistencia a compresión del DM30 .....	114
Tabla 28	Resumen de la resistencia a compresión de los diseños de mezcla.....	115
Tabla 29	Resultado final para cada diseño de mezcla .....	115
Tabla 30	Resultado del porcentaje de vacíos del DM0 .....	115
Tabla 31	Resultado del porcentaje de vacíos del DM15 .....	116
Tabla 32	Resultado del porcentaje de vacíos del DM20 .....	116
Tabla 33	Resultado del porcentaje de vacíos del DM30 .....	117
Tabla 34	Resultado de succión del DM0.....	117
Tabla 35	Resultado de succión del DM15.....	118
Tabla 36	Resultado de succión del DM20.....	118
Tabla 37	Resultado de succión del DM30.....	118
Tabla 38	Resumen del valor de succión de los diferentes diseños de mezcla.....	119
Tabla 39	Resultado de absorción del DM0 .....	119
Tabla 40	Resultado de absorción del DM15 .....	119
Tabla 41	Resultado de absorción del DM20 .....	120
Tabla 42	Resultado de absorción del DM30 .....	120
Tabla 43	Resultado de absorción máxima del DM0 .....	121
Tabla 44	Resultado de absorción máxima del DM15 .....	121
Tabla 45	Resultado de absorción máxima del DM20 .....	121
Tabla 46	Resultado de absorción máxima del DM30 .....	122
Tabla 47	Coeficiente de saturación de los diseños de mezcla.....	122
Tabla 48	Resultado de la densidad del DM0 .....	122
Tabla 49	Resultado de la densidad del DM15 .....	123
Tabla 50	Resultado de la densidad del DM20 .....	123
Tabla 51	Resultado de la densidad del DM30 .....	123
Tabla 52	Resultado de la eflorescencia del DM0 .....	124
Tabla 53	Resultado de la eflorescencia del DM15 .....	124

Tabla 54	Resultado de la eflorescencia del DM20 .....	124
Tabla 55	Resultado de la eflorescencia del DM30 .....	125
Tabla 56	Resultado de la resistencia de la albañilería a compresión axial.....	125
Tabla 57	Resultado de la conductividad térmica del DM0.....	125
Tabla 58	Resultado de la conductividad térmica del DM15.....	126
Tabla 59	Resultado de la conductividad térmica del DM20.....	126
Tabla 60	Resultado de la conductividad térmica del DM30.....	126
Tabla 61	Resumen de la conductividad térmica de los diseños de mezcla .....	127
Tabla 62	Resumen final de los resultados obtenidos .....	127
Tabla 63	Tabla ANOVA de variación dimensional (largo) .....	130
Tabla 64	Tabla ANOVA de variación dimensional (ancho) .....	130
Tabla 65	Tabla ANOVA de variación dimensional (alto).....	130
Tabla 66	Tabla TUKEY de variación dimensional (largo).....	131
Tabla 67	Tabla TUKEY de variación dimensional (ancho).....	131
Tabla 68	Tabla TUKEY de variación dimensional (alto) .....	132
Tabla 69	Tabla ANOVA de alabeo (concavidad) .....	132
Tabla 70	Tabla ANOVA de alabeo (convexidad) .....	132
Tabla 71	Tabla ANOVA de porcentaje de vacíos .....	133
Tabla 72	Tabla ANOVA de absorción .....	133
Tabla 73	Tabla TUKEY de absorción.....	134
Tabla 74	Tabla ANOVA de absorción máxima .....	134
Tabla 75	Tabla TUKEY de absorción máxima.....	135
Tabla 76	Tabla ANOVA de densidad .....	135
Tabla 77	Tabla TUKEY de densidad.....	136
Tabla 78	Tabla ANOVA de succión.....	136
Tabla 79	Tabla TUKEY de succión .....	136
Tabla 80	Tabla ANOVA de resistencia a compresión.....	137

Tabla 81	Tabla TUKEY de resistencia a compresión .....	137
Tabla 82	Tabla Q de COCHRAN de eflorescencia.....	138
Tabla 83	Tabla ANOVA de conductividad térmica.....	138
Tabla 84	Tabla TUKEY de conductividad térmica .....	138
Tabla 85	Análisis de costo de producción unitario del ladrillo KK 18 huecos .....	139
Tabla 86	Análisis de costo de producción unitario por kilo de vidrio triturado .....	139
Tabla 87	Costo final de la unidad de ladrillo de cada uno de los tratamientos .....	140
Tabla 88	Resumen de porcentaje de vacíos.....	142

## Índice de figuras

Figura 1. Extracción y carguío de la arcilla.....	41
Figura 2. Desintegrador.....	42
Figura 3. Mezcladora.....	42
Figura 4. Vista en corte de la Máquina Extrusora.....	43
Figura 5. Boquilla de la Máquina Extrusora.....	43
Figura 6. Cortadora múltiple de ladrillo.....	44
Figura 7. Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman.....	46
Figura 8. Leyes correspondientes a vías de transferencia de calor.....	53
Figura 9. Principales propiedades de la distribución normal (Campana de Gauss).....	55
Figura 10. Selección de la prueba de acuerdo al tipo de variables.....	56
Figura 11. Flujograma para la ejecución del proyecto de investigación.....	63
Figura 12. Juego de tamices.....	66
Figura 13. Cuchara de Casagrande.....	68
Figura 14. Muestras de suelo para ensayos de límites de consistencia.....	69
Figura 15. Muestras de suelo (C1, C2 y C3).....	70
Figura 16. Bloque de ladrillos saliendo de la maquina extrusora.....	81
Figura 17. Rumado de ladrillos para su secado.....	82
Figura 18. Muestra seca de cada diseño de mezcla.....	82
Figura 19. Ladrillo crudo extruido ya seco.....	83
Figura 20. Ladrillos entrando al horno de quemado.....	83
Figura 21. Embalado de unidades de ladrillos.....	84
Figura 22. Vidrio triturado.....	84
Figura 23. Distribución del polvo de vidrio en la faja transportadora.....	85
Figura 24. Medición de las dimensiones del ladrillo.....	87
Figura 25. Concavidad en unidades de albañilería.....	88
Figura 26. Convexidad en unidades de albañilería.....	88

Figura 27. Controlando la nivelación del ladrillo .....	89
Figura 28. Colocación del espécimen en la máquina de compresión.....	90
Figura 29. Especímen ensayado por la máquina de compresión .....	91
Figura 30. Especímen ensayado por la máquina de compresión .....	92
Figura 31. Nivelación del espécimen .....	93
Figura 32. Control del nivel del agua .....	94
Figura 33. Control del peso del ladrillo saturado. ....	95
Figura 34. Especímenes sumergidos por 24 horas.....	96
Figura 35. Ensayo de absorción máxima.....	97
Figura 36. Control de temperatura. (entre los 15 y 30 °C) .....	97
Figura 37. Cálculo del peso sumergido de la muestra .....	99
Figura 38. Especímen sumergido a 25 mm. ....	100
Figura 39. Especímen DM30 con eflorescencia en los bordes. ....	100
Figura 40. Límites máximos y mínimos de granulometría para mortero.....	101
Figura 41. Proporciones para tipos de mortero. ....	102
Figura 42. Murete para ser ensayado.....	103
Figura 43. Equipo eléctrico para medir la conductividad térmica.....	104
Figura 44. Multímetro midiendo la resistencia de la placa caliente.....	105
Figura 45. Multímetro midiendo el voltaje a suministrar del regulador a la placa caliente ...	106
Figura 46. Multímetro midiendo la resistencia de la placa caliente.....	107

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Curva granulométrica del diseño de mezcla combinación 1-1-1.....	71
Gráfico 2. Carta de plasticidad del diseño de mezcla combinación 1-1-1. ....	72
Gráfico 3. Composición química de la cantera N° 1 - arcilla.....	73
Gráfico 4. Composición química de la cantera N° 2 - arcilla.....	73
Gráfico 5. Composición química de la cantera N° 3 - arena.....	74
Gráfico 6. Composición química del diseño de mezcla combinación 1-1-1.....	74
Gráfico 7. Diagrama de Winkler.....	75
Gráfico 8. Diagrama de índice de plasticidad – limite plástico con indicación de campos adecuados para una conformación optima y aceptable de mezclas de ladrillos.....	76
Gráfico 9. Comparación de la composición química de la muestra y los límites máximos y mínimos permitidos para el uso en mezclas de ladrillos. ....	77
Gráfico 10. Curva granulométrica del polvo de vidrio.....	79
Gráfico 11. Curva de granulometría controlada del mortero.....	102

## Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos ciudades: los ladrillos se fabricaron en la ciudad del Cusco, con la ayuda de la empresa ladrillera LATESA; los ensayos para el cálculo de diseño de mezcla y para la clasificación del ladrillo se desarrollaron en la ciudad de Juliaca – San Román en el campus de la Universidad Peruana Unión. Todo el proceso se desarrolló desde enero hasta diciembre del 2019 con el fin de lograr un diseño de mezcla óptimo para la fabricación del ladrillo patrón y ladrillos con adición de vidrio en porcentajes controlados (15, 20 y 30 %). Para el diseño de mezcla óptimo se realizaron las pruebas de granulometría por tamizado e hidrómetro, límites de consistencia y composición química. Los ensayos que se realizaron en los ladrillos (patrón y con adición de vidrio) fueron de variación dimensional, alabeo, resistencia a compresión, porcentaje de vacíos, succión, absorción, absorción máxima, densidad, eflorescencia, conductividad térmica y resistencia característica de la albañilería (muretes). Se logró obtener por medio de la incorporación del vidrio mejoras en las propiedades de los ladrillos, teniendo al fin un ladrillo TIPO V con la adición del 30% de vidrio. Sin embargo, teniendo un aumento en su conductividad térmica en relación al ladrillo patrón.

**Palabras clave:** adición de vidrio, diseño de mezcla, resistencia a compresión, conductividad térmica.

## **Abstract**

This research work was developed in two cities: the bricks were manufactured in the city of Cusco, with the help of the brick company LATESA; The tests for the calculation of the mixture design and for the classification of the brick were developed in the city of Juliaca - San Román on the campus of the Universidad Peruana Unión. The entire process was developed from January to December 2019 in order to achieve an optimal mix design for the manufacture of pattern brick and bricks with the addition of glass in controlled percentages (15, 20 and 30%). For the optimal mix design, sieve and hydrometer granulometry tests, consistency limits and chemical composition were carried out. The tests carried out on the bricks (pattern and with the addition of glass) were of dimensional variation, warping, compressive strength, percentage of voids, suction, absorption, maximum absorption, density, efflorescence, thermal conductivity and characteristic resistance of the masonry (low walls). Improvements in the properties of the bricks were obtained through the incorporation of glass, finally having a TYPE V brick with the addition of 30% glass. However, having an increase in its thermal conductivity in relation to the standard brick.

**Keywords:** glass addition, mix design, compressive strength, thermal conductivity

## **CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En la sierra del Perú las temperaturas en épocas de invierno, generalmente desde mayo hasta agosto aproximadamente, descienden hasta de bajo de los 0 °C; siendo específicos, estas temperaturas generalmente se registran en la región de Puno. No obstante, las bajas temperaturas y el friaje en esta parte del Perú se presentan todo el año, ante dicho problema muchas familias adoptan ciertas medidas para luchar contra el frío, una de ellas son los sistemas de calefacción como son las estufas, calefactores, etc. que generalmente necesitan conectarlos a fuentes de energía eléctrica que podrían fallar si es que hubiera apagones.

Este problema viene arrastrándose desde años anteriores, por eso nace la necesidad de implementar sistemas de calefacción sin la necesidad directa de fuentes de energía eléctrica y que el costo de estas mismas no sea elevado, para no afectar la economía de las familias.

Por otra parte, los problemas de la producción de desechos aumentan rápidamente haciendo que el impacto de este, sea negativo en el medio ambiente. Este problema obliga buscar soluciones inmediatas en nuestro país; lamentablemente algunas medidas de solución resultan ser poco eficaces y el convencimiento acerca del reciclaje a las personas han sido insuficientes.

Uno de los tantos materiales a reciclar es el vidrio, viene en diferentes presentaciones y podemos encontrarlos en todos lugares.

La cultural del reciclaje en países europeos, a diferencia del nuestro, si es aplicado. Como ejemplo, en España el año 2017, cada habitante recicló una media de casi 17 kilogramos, equivalentes a 64 envases, según EcoVidrio, la entidad gestora de este residuo en España (Farrás Pérez, 2018) y en Suiza, Irlanda y Bélgica el vidrio se recicla

por colores ya que el vidrio coloreado no puede volver a ser transparente tras su reciclado (Calero, 2017).

Por ende, esta tesis busca elaborar un material nuevo de construcción que ayude con el problema de la contaminación ambiental, reciclando el vidrio y por consiguiente ayudar con el problema del frío en la sierra del Perú, específicamente en la región de Puno.

### **1.1.1 Formulación del problema**

¿Será posible mejorar las propiedades térmicas del ladrillo con adición de vidrio triturado para zonas de friaje en el Perú, ayudando a reducir la contaminación ambiental?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar las propiedades térmicas del ladrillo de arcilla adicionando vidrio, sin afectar negativamente las propiedades físicas y mecánicas del mismo y ayudar al medio ambiente reduciendo la contaminación ambiental ocasionados por los desechos del vidrio.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Determinar las características químicas y físicas de la materia prima a usar en la elaboración de los ladrillos.

Proponer la dosificación de la materia prima y el vidrio en la estructura del ladrillo a elaborarse a fin de lograr las características físicas y mecánicas adecuadas con propiedades térmicas mejoradas.

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y la conductividad térmica de los nuevos ladrillos con vidrio en base a los requisitos establecidos en la norma del Reglamento Nacional de Edificaciones E.070, EM. 110 y la NTP 331.018.

### **1.3 Justificación**

#### **1.3.1 Justificación técnica**

En el Perú las edificaciones son construidas mayormente con unidades de arcilla cocida por su fácil manejo y montaje (como muros estructurales y no estructurales), por su buena resistencia y su comportamiento sísmico, sin embargo, se descuidó el aspecto del confort térmico de las viviendas y no es hasta el 2014 que se publica e incluye en el Reglamento Nacional de Edificaciones la norma EM.110 “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”. Es por este motivo que en este proyecto de tesis se incluirá el parámetro de conductividad térmica en la elaboración de estos nuevos ladrillos pretendiendo mejorar el confort térmico de las viviendas.

#### **1.3.2 Justificación económica**

Durante muchos años se vienen haciendo proyectos de nuevas oportunidades de trabajo para ayudar a familias. Con este proyecto de investigación se busca crear nuevas oportunidades de trabajo, al reciclar botellas de vidrio y después de su limpieza, proceder a venderlos por cantidades a las fábricas ladrilleras que opten por elaborar ladrillos con adición de vidrio.

Por otro lado, esta tesis busca elaborar unidades de arcilla cocida (ladrillos) que tengan mejores propiedades en comparación con el ladrillo convencional y a la vez no afectar significativamente la economía de la familia al adquirir dicho material de construcción.

#### **1.3.3 Justificación ambiental**

La necesidad de reciclar los residuos que se producen a diario es urgente, lamentablemente la “cultura del reciclaje” en nuestro país, es casi nula. Por ejemplo, en la ciudad de Juliaca no solo no se recicla, si no que las calles no tienen ni tachos de basura generales, haciendo que la responsabilidad de los habitantes en cuanto a los residuos solo se limite a sacar las bolsas de basura y dejarlas al frente de su casa o en todo caso

esperar al camión que recoge la basura semanalmente. Esto no solo conlleva a no tener la costumbre de poner la basura en los depósitos correspondientes sino también a no saber separar los desechos y colocarlos en los depósitos que corresponden cada tipo (orgánicos e inorgánicos).

La propuesta de esta tesis no es montar sistemas de calefacción en el hogar, sino más bien, que al construir las casas se haga con un material que tenga una mejor respuesta a la transferencia de calor, teniendo como fuente de calor directa la luz solar; no solo eso, sino también que este material, para tener esa propiedad, tenga como componente un material reciclado, como es el vidrio. Finalmente, el material que proponemos deberá cumplir con todos los estándares y pruebas que el Reglamento Nacional de Edificaciones E 0.70 y la Norma Técnica Peruana 331.018 exija.

#### **1.3.4 Justificación social**

Al mismo tiempo, se nos olvidó hacer de la ingeniería una ingeniería más sostenible y amigable con la naturaleza, siendo este un campo que se debe trabajar constantemente para obtener nuevos y mejores resultados. Al reciclar el vidrio en este proyecto de tesis, se pretende trabajar con esta diferente percepción de la Ingeniería Civil.

Finalmente, la importancia de esta tesis no solo está en los problemas que se podrán solucionar por la elaboración de este nuevo material, sino también en que, al reciclar vidrios, se generarían empresas recicladoras y así mejorar la calidad de vida de las mismas. Como dice Ramírez (2012) “La basura es dinero y la gente no lo sabe”.

#### **1.4 Presuposición filosófica**

En el principio, Dios le había dado la misión a Adán de cuidar del Edén. Con el tiempo y con la caída del hombre este mandato divino fue olvidado paulatinamente por los habitantes de la tierra. Hoy en día, con el crecimiento del conocimiento, el hombre fue utilizando los recursos de la tierra olvidándose de que debíamos protegerlo, aun así, Dios

en su infinita misericordia sigue brindando al ser humano sus bondades por medio de la naturaleza, que prácticamente, estamos dejando en el olvido.

En la actualidad, los recursos naturales están siendo explotados sin ningún control. Esto ocasionó que se tenga la necesidad de reutilizar algunos elementos que se usa en la vida cotidiana de cada persona. Si se hubiese respetado y cuidado el medio ambiente como Dios mandó, la humanidad no hubiera sufrido tantas catástrofes terrestres y marinas.

Esta investigación tiene como preposición filosófica obedecer el mandato divino escrito en Génesis 2:15 contrarrestando así, de alguna manera, el cambio climático (calentamiento global) que el mismo hombre ocasionó. El hombre que cree sinceramente en Dios, no solo debería cuida su cuerpo, que es templo del Espíritu Santo, sino también el lugar donde Dios lo puso para habitar. Como ya es de suponerse, el cuidado que necesita la tierra ahora no es la misma que necesitaba cuando Dios puso a Adán en el jardín del Edén, pero la orden de Dios no cambió con el tiempo. Está en cada ser humano cuidar de la tierra, desde botar los desechos en los lugares indicados hasta evitar usar materiales nocivos para la naturaleza.

## CAPITULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1 Antecedentes

Según Santos Rocha (2018) en su tesis “Diseño y elaboración de bloques de termoarcilla” propone un bloque de termoarcilla con determinadas propiedades que brinden un adecuado comportamiento frente a carga sísmica y un mejor aislamiento térmico a las viviendas. Para la realización de estos objetivos se seleccionó la composición de mezclas de suelo más óptimo (para ello se tomó en cuenta la composición química, la distribución granulométrica, la plasticidad y la contracción de cocción de la arcilla). Por otro lado, para la dosificación de las perlitas de poliestireno se realizó una prueba en vacío produciendo perlitas de 2 mm y 5 mm. Durante la elaboración de los bloques, se emplearon 4 diseños en función al porcentaje de poliestireno añadido en la mezcla. Luego, se realizó los ensayos clasificatorios y no clasificatorios a los 4 diseños propuestos. En la última etapa de la investigación, luego de analizar los resultados y seleccionar el diseño definitivo, se realizó una producción de unidades de cantidad suficiente para realizar los ensayos de prismas de albañilería y el ensayo de cámara térmica en base a la reglamentación vigente para cada ensayo. Finalmente, se obtuvo que de los 4 diseños realizados la dosificación empleada en el diseño BD2 es la que mejores características otorga a la unidad de bloque de termoarcilla; esta mezcla tenía 80%Jancoca+20%Languilago con perlitas de poliestireno de 3 mm en proporción de 5.50% del volumen total de la unidad.

Después de realizados los ensayos se obtuvieron que la resistencia a la compresión fue de 182.03 kg/cm<sup>2</sup> con una máxima variación porcentual dimensional de 0.34% y alabeo de 0.21 mm, clasificando la unidad como Tipo V para fines estructurales. La absorción de las unidades fue de 14.49%. El coeficiente de saturación obtenido fue de 0.829, valor inferior al máximo permitido de 0.85. La densidad presentada en los bloques de termoarcilla fue de 1.85 gr/cm<sup>3</sup>. La resistencia característica a compresión de la

albañilería es de 194.01 kg/cm<sup>2</sup>, resultado que cumple satisfactoriamente con lo indicado en la norma E.070, de 65 kg/cm<sup>2</sup> para ladrillos king kong industrial de arcilla. Se obtuvo un módulo de elasticidad de  $E_m = 534 \text{ f.m.}$  En relación a los beneficios térmicos, el bloque de termoarcilla presenta una conductividad térmica de 0.236 W/(m K), que representa el 50% del valor establecido en la norma EM.110 para unidades de ladrillo king kong industrial (0.47 W/(m K)), mejorando así la capacidad de aislamiento térmico de la unidad. Se estableció el costo unitario del bloque de termoarcilla en S/. 1.98 en función al peso del mismo, calculando tanto el costo por kilogramo de arcilla como de las perlititas de poliestireno contenidas en la mezcla.

Ruíz Fernández (2015) en su proyecto “Influencia de la adición de vidrio triturado en la resistencia a la compresión axial de un ladrillo de arcilla artesanal de Cajamarca, 2015” la autora determinó la influencia del vidrio triturado en la resistencia a compresión axial de un ladrillo usando diferentes porcentajes del mismo en los ladrillos de arcilla artesanal. Después de haber realizado los ensayos de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y granulometría de la arcilla, se procedió a la elaboración de los ladrillos con un porcentaje de vidrio triturado de 5%, 10%, 15%, 25% y 50% para cada mezcla. Finalmente los sometió a los ensayos de resistencia a compresión axial, absorción, medición del tamaño de las unidades de arcilla y alabeo todos según la norma NTP 399.613. Los resultados indican que entre los (05) porcentajes utilizados, la máxima resistencia se logró adicionando 10% de vidrio triturado con una resistencia de 97.74 Kg/cm<sup>2</sup>.

Caballero Meza & Florez Lengua (2016) en su trabajo de investigación “Elaboración de bloques de cemento reutilizando el plástico polietileno-tereftalato (pet) como alternativa sostenible para la construcción” tuvo como objetivo comprobar mediante ensayos normalizados y a la luz de las normas NSR-10 y Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC, si bloques de cemento hechos con diferentes proporciones de triturado de

Polietilen-Tereftalato (PET), son una alternativa factible para ser usada en la construcción. Para lo cual se elaboraron los bloques de cemento con diferentes proporciones de triturado de polietilen-tereftalato (PET) para comprobar si cumplen los criterios establecidos en la NSR-10 y las Normas Técnicas Colombianas NTC de ICONTEC. Posteriormente, se hizo una comparación entre un análisis de precio unitario de un bloque con PET y un A.P.U. de un bloque convencional para determinar cuánto es, más o menos, viable económicamente el bloque propuesto mediante esta investigación, teniendo en cuenta los precios manejados para la fabricación de estos elementos en forma convencional. En respuesta al objetivo general basado en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques adicionados con PET triturado en diferentes proporciones a través de ensayos normalizados, se pudo determinar que los bloques fabricados no cumplieron con la resistencia mínima requerida por las Normas Técnicas Colombianas.

Rivera Martínez (2013) en su tesis “Materiales alternativos para la elaboración de tabiques ecológicos” se propuso determinar el material alternativo para la elaboración de tabiques a través de pruebas de compresión para medir su resistencia, que permitan disminuir el uso de recursos naturales e incrementar el de los materiales reciclables. Se elaboraron los diseños de las mezclas realizadas con los cementantes y agregados sustitutos (hojuelas de plástico PET y cascara de coco) para formar los tabiques experimentales, luego se les hizo la prueba de resistencia a compresión. Los resultados finales fueron que los tabiques de jal al 30 % se pudo apreciar que la resistencia es baja debido a la poca adherencia que se tiene entre el plástico y el cemento natural, debido a esto se obtuvo una muy baja resistencia en los ensayos. En los ensayos realizados con PET al 50% se concluyó que no cumplen para nada con lo requerido, pues el contenido de plástico es mayor y su adherencia es menor. Se pudo concluir que la cascara de coco no fue adecuada para la elaboración de los ensayos, ya que no se logró la obtención de

piezas adecuadas, puesto que eran muy inestables y frágiles, pudiéndose obtener solamente dos tabiques debido a su mal comportamiento con el cemento, obteniendo la conclusión muy semejante a la de los tabiques de jal-PET que es encontrar un aditivo epóxico que le brinde rigidez adecuada para ser utilizado en la elaboración de tabiques.

Lozano Ortiz & Gonzáles Peláez (2016) en su proyecto “Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del sector alfarero de candelaria” evaluó las características de las mezclas para ladrillos cocidos de arcilla en estado húmedo y analizó la influencia de la adición de residuos de la producción de ladrillo en las propiedades mecánicas del material. Para determinar las características de la materia prima se hicieron los siguientes ensayos: humedad natural (ASTM D2216), lavado sobre tamiz No. 200 (ASTM D1140), análisis granulométrico (ASTM D422), límites de Atterberg (BS 13772-1990), límite de contracción (ASTM D427), gravedad específica (ASTM D854). Luego se realizó el muestreo no probabilístico o dirigido en la extrusión de la mezcla, confección de los cilindros en el laboratorio con la mezcla de cada una de las ladrilleras, se seleccionaron cinco ladrillos y fueron llevados a laboratorio para realizarles ensayos de resistencia a la compresión y absorción (NTC 4205, NTC 4017 y NSR 10), finalmente se procedo a analizar la relación entre los ladrillos de las ladrilleras y los cilindros confeccionados en el laboratorio. Por último, mediante la implementación de prueba de hipótesis Anova, se pudo determinar que para las resistencias de las dos ladrilleras, las medias poblacionales son iguales, es decir la adición de residuo cerámico no tiene efectos sobre la resistencia a la compresión. Sin embargo, se tiene que adicionar 10% de residuo cerámico a la mezcla de la ladrillera La Gloria la resistencia a la compresión aumenta en un 11% en comparación a las resistencias de las probetas que no tienen adición. Por otra parte, para la ladrillera Tres Puertas se tiene que adicionar 5% de residuo cerámico, incrementa la resistencia a la compresión en un 17% en comparación a las resistencias de las probetas que no tienen adición. En cuanto a la prueba de hipótesis

para la absorción se obtuvo que para la ladrillera La Gloria las medias poblacionales son iguales, es decir, la adición de residuo cerámico no tiene efectos sobre estas. Sin embargo, se tiene que al adicionar un 5% de residuo cerámico a la mezcla de La Gloria, se obtienen mejores resultados en la absorción, debido a que esta disminuye en un 1% respecto a las absorciones obtenidas para las probetas que no tiene adición. En cuanto a la ladrillera Tres Puertas, si existen diferencias entre las medias poblacionales, es decir que la adición de residuo cerámico si tiene efectos sobre la absorción de estas, lo que se puede evidenciar, cuando se realiza un porcentaje de adición de chamote del 5% a la mezcla de Tres Puertas, pues la absorción disminuye en un 40% respecto a las absorciones de las probetas que no tiene adición.

Según Tamayo, Guzmán, López & Sacari (2012) en su artículo científico “Efecto reforzante del vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos artesanales” se pudo reportar el mejoramiento de la resistencia a la compresión y la disminución de temperatura de cocción en ladrillos de arcilla reforzados con vidrio sodo-calcico reciclado. En su diseño experimental utilizaron el algoritmo de Mc Lean y Anderson para mezclas de tres componentes con restricciones, obteniéndose 12 mezclas y una muestra patrón (sin vidrio). Las propiedades físicas y químicas de las materias primas y las muestras calcinada se midieron por medio del análisis granulométrico, porcentaje de humedad, límite de Atterberg, densidad, análisis mineralógico por difracción de rayos X, porcentaje de contracción, absorción de agua, morfología por Microscopia Óptica y resistencia a la compresión. La metodología se dividió en dos grandes procesos experimentales: diseño experimental de mezclas y caracterización de la materia prima. Se fabricaron 13 bloques de ladrillos de arcilla cocida en cada bloque con sus respectivas replicas en los cuales se evaluaron las características físicas en crudo y en seco. El trabajo final dejó como conclusiones que es posible fabricar ladrillos de arcilla cocida con buenas propiedades mecánicas utilizando como reforzante al vidrio sodo-calcico reciclado en una proporción

de 30% en peso, 50% tierra de cultivo y 20% de greda, cocida al 900 °C. se determinó la resistencia a la compresión de 28 MPa. Como agente fundente en la misma mezcla con una temperatura de cocción de 800 °C se obtuvo una resistencia a la compresión de 17 MPa, que según la norma de albañilería E-070 sería catalogado como ladrillo tipo V con mejor resistencia a la compresión.

## 2.2 Marco Normativo

### 2.2.1 Unidades de albañilería

Las unidades de albañilería se dividen en dos grandes grupos básicamente. El primer grupo denominado ladrillos, son aquellos cuya dimensión y peso permiten manipularse con solo una mano. El segundo grupo se denomina bloques, a diferencia de los ladrillos estas requieren ser manipuladas con dos manos debido a sus dimensiones y peso. En general, estas unidades de albañilería tienen como materia prima para su elaboración la arcilla, sílice-cal o concreto (Norma E 0.70 Albañilería, 2006).

#### 2.2.1.1 Clasificación de las unidades para fines estructurales.

En cuanto al diseño estructural, los ladrillos se clasifican en cinco y los bloques en dos. En la siguiente tabla se muestra esta clasificación según la Norma E 0.70 Albañilería (2006).

Tabla 1  
*Clase de unidad de albañilería para fines estructurales*

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

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Norma E 0.70 Albañilería (2006)

### 2.2.1.2 Limitaciones de la unidad en su aplicación

La aplicación de las unidades estará condicionada según su tipo y zona sísmica, como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 2

*Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales*

TIPO	ZONA SISMICA 2 Y 3		ZONA SISMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Solido artesanal*	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Solido industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta dos pisos

\*las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

Fuente: Norma E 0.70 Albañilería (2006).

Para entender lo descrito en la tabla 2, es necesario conocer los conceptos básicos de tipos de unidades de albañilería.

Tabla 3

*Tipos de unidades de albañilería*

TIPOS	DEFINICION
Unidad de albañilería alveolar	Unidad de albañilería solida o hueca con tamaño de alveolos suficiente para alojar refuerzo vertical. Son empleadas para la construcción de muros armados.
Unidad de albañilería Hueca	Cuya sección transversa a cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área bruta menor que 70% del área bruta en el mismo plano
Unidad de albañilería solida o maciza	Cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que 70% del área bruta en el mismo plano.
Unidad de albañilería tubular o pandereta	Unidad de albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento.

Fuente: Norma E 0.70 Albañilería (2006)

### 2.2.1.3 Ensayos a elaborar a las unidades de albañilería según la norma RNE E.070

Según la Norma E 0.70 Albañilería (2006), las pruebas a las que serán sometidas las unidades de albañilería son las siguientes:

- a. Muestreo: Este muestreo se hará por cada lote de 50 millares, los cuales se seleccionarán al azar 10 unidades. En estas unidades se harán las pruebas de variación dimensional y absorción, y también, 05 de ellos se ensayarán a compresión y los otros 05 a absorción.
- b. Resistencia a la Compresión: Este ensayo se efectuará de acuerdo a las normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia de compresión de las unidades de albañilería (f'b) se determinará restándole la desviación estándar del promedio de la muestra .
- c. Variación Dimensional (procedimiento indicado en la norma NTP 399.613 y 339.604)
- d. Alabeo (procedimiento indicado en la norma NTP 399.613)
- e. Absorción (procedimiento indicado en la norma NTP 339.604 y 399.613)

#### **2.2.1.4 Ensayos a elaborar a las unidades de albañilería según la norma NTP 331.018**

La Norma Técnica Peruana 331.018 (1978) hace un listado de ensayos para ladrillos.

A continuación, los ensayos con su respectiva descripción.

- Alabeo: Como se sabe, en las dimensiones de los ladrillos existen diferencias en el largo, ancho y alto en cuanto a las dimensiones especificadas, también existen las deformaciones en las caras de los mismos conocidos como concavidades o convexidades. Estas imperfecciones originan en la construcción espesores de junta mayores a los convenientes. Es decir, a mayor imperfección en las superficies mayor espesor de juntas (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978).
- Resistencia a la compresión: La propiedad de resistencia a la compresión de la albañilería (f'm) es la más importante, ya que este, no solo define el nivel de su calidad estructural sino también su resistencia a la intemperie. Los

principales componentes que definen su f'm son la resistencia a compresión del ladrillo (f'b), la perfección geométrica del ladrillo, la calidad de mortero y la calidad de manos de obra (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978).

- Densidad: A partir de ensayos realizados en esta Norma Técnica Peruana 331.018, (1978) se ha determinado que existe una relación entre la densidad del ladrillo y sus demás propiedades. Es decir, a mayor densidad mejores serán sus propiedades de resistencia a compresión y perfección geométrica.
- Módulo de rotura: Este módulo es una medida aproximada a la resistencia a tracción del ladrillo. En la clasificación del ladrillo, esta propiedad no fue considerada como requisito al tener un valor relacionado a la resistencia a compresión y también porque el valor cuantitativo que este proporciona en relación a la albañilería no puede establecerse (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978).
- Absorción máxima: Esta propiedad es considerada como la medida de impermeabilidad del ladrillo. Los valores máximos obtenidos indican a condiciones de uso en los que se requiere utilizar el ladrillo en contacto constante con el agua o terreno, sin recubrimiento protector (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978).

Tabla 4  
*Requisitos complementarios (absorción y coeficiente de saturación)*

Tipo	Absorción de agua, mediante 5 h de ebullición, máx., %		Coeficiente de saturación máx.	
	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual
21	17,0	20,0	0,78	0,80
17	22,0	25,0	0,88	0,90
14 y 10	Sin limite	Sin limite	Sin limite	Sin limite

\*el coeficiente de saturación es la relación de absorción mediante inmersión en agua fría durante 24 h a la absorción después de 5 h de inmersión en agua en ebullición.

Fuente: Norma Técnica Peruana 331.017 (2003).

- Coeficiente de saturación: La relación que existe entre la absorción del ladrillo (cuando se le sumerge en agua un número de horas determinado) y la

absorción máxima de ladrillo (medida luego de 5 horas de ebullición) se llama coeficiente de saturación. Es decir, a mayor coeficiente de saturación, mayor será la cantidad de agua que absorbe rápidamente el ladrillo y menor su resistencia a la intemperie (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978).

- **Succión:** Aquellos ladrillos que tienen una succión excesiva no pueden tener uniones adecuadas con el mortero usando métodos habituales de construcción, ya que el agua del mortero es rápidamente absorbida por el ladrillo endureciéndose sin lograr un contacto completo con la cara del siguiente ladrillo. Resultando en una adhesión incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978)
- **Eflorescencia:** La eflorescencia es una medida cualitativa del afloramiento y cristalización de las sales solubles contenidas en el ladrillo cuando éste es humedecido. La objeción principal a la eflorescencia es su efecto sobre la apariencia de la albañilería; sin embargo, puede ocurrir si las sales que se cristalizan se encuentran en cantidad importante que la presión que estos cristales ejerzan al crecer cause rajaduras y disgregación de la albañilería. Esta posibilidad debe analizarse en el caso en que la muestra sometida al ensayo sea calificada como "efloreceda". (Norma Técnica Peruana 331.018, 1978)

Se recomienda realizar esta prueba en casos de que los muros tengan un acabado cara vista y/o se encuentren sometidos a humedades intensas y constantes.

#### **2.2.1.5 Aceptación de la unidad según la norma RNE E.070**

Para la aceptación de las unidades de albañilería la Norma E 0.70 Albañilería (2006) tiene requisitos que se deberán de cumplir.

- Si los resultados de las muestras producidas industrialmente presentan más del 20% de dispersión se ensayarán nuevas muestras, si la dispersión de resultados continua, se rechazará el lote. Lo mismo ocurrirá para unidades producidas artesanalmente, en este caso será del 40% a más de dispersión.
- La absorción no deberá ser mayor al 22% en unidades de arcilla y sílico-calcáreas, para los bloques de concreto la absorción no deberá de ser mayor al 12% y para bloques de concreto NP no deberá de ser mayor al 15%.
- Las unidades de albañilería no deberán de presentar materias extrañas en su superficie (guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea).
- El color de las unidades de albañilería deberá tener un color uniforme sin presentar vitrificaciones. Al golpear a las unidades de albañilería con un martillo estas deberán producir un sonido metálico.
- Las unidades de albañilería no deberán tener defectos, tales como, fracturas, grietas u otros que afecten la durabilidad y/o resistencia del mismo.
- La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo (presentar eflorescencia).

#### **2.2.1.6 Transmisión térmica según la EM.110**

##### **a. Transmitancia térmica (U)**

La transmitancia térmica representa la cantidad de calor que atraviesa a un elemento por unidad de área y en un tiempo determinado, donde ocurre una diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Por lo tanto, estará ligado a la propiedad que posean los materiales que componen el elemento para dejar pasar calor a través de ellos y por ende, cuanto menor sea el valor de la transmitancia térmica, menor es la pérdida de calor a través del elemento, y en consecuencia mejor las capacidades aislantes del elemento (Santos Rocha, 2018).

##### **b. Conductividad térmica**

“Capacidad del materiales para dejar pasar el calor a su través. La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica (capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor). Se expresa en Vatio por metro grado Kelvin (W/m K)”. (Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, 2014)

La conductividad térmica de los distintos materiales se determina experimentalmente, y con este propósito se conocen distintos métodos, la mayoría de los cuales se basan en la medida de la densidad de flujo de calor y en el gradiente de temperatura. (Aguilar Juárez, 2008)

De acuerdo con la Ley de Fourier, la fórmula de la conductividad térmica es la siguiente:

$$k = \frac{q_k / A}{|dT/dx|} \quad (1)$$

Donde:

- k : conductividad térmica
- $q_k$  : Flujo de calor por conducción
- A : Área de transferencia de calor
- $dT/dx$  : gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor

Cuanto mayor ser la conductividad térmica de un material, será un mejor conductor de calor, al contrario, si un material tiene una menor conductividad térmica, será un mejor aislante térmico.

En el Anexo 03 de la norma EM.110 se muestra las características higrométricas de unidades de arcilla empelados en construcción.

Tabla 5  
*Características higrométricas de los materiales de construcción*

<b>MAMPOSTERIA</b>	<b>Densidad <math>\rho</math> (Kg/m3)</b>	<b>Coef. de conductividad térmica k (W/(mK))</b>

Bloque de arcilla - Ladrillo corriente	1700	0.84
Bloque de arcilla - Ladrillo tipo King Kong	1000	0.47
Bloque de arcilla - Ladrillo pandereta	900	0.44
Bloque de arcilla - Ladrillo hueco de techo	600	0.35
Bloque de arcilla - Ladrillo pastelero	1450	0.71
Bloque de concreto - Unidad hueca	1200	0.50
Adobe	1100-1800	0.90

\*extracto sacado del Anexo 03 de la EM.110 (para ver el anexo completo vea la norma).  
Fuente: Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética (2014).

### **c. Resistencia térmica**

Según la Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética (2014), es la capacidad de resistencia de un material al paso de flujos de calor. Es inversamente proporcional a la conductividad térmica y aumenta con el espesor de material. Se expresa en metros cuadrados y grados Kelvin por vatio ( $m^2K / W$ ).

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1 El ladrillo**

#### **2.3.1.1 Materia prima empleado en la elaboración de ladrillos**

Según la Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) las materias primas son las siguientes: la arcilla, la arcilla refractaria y el esquisto arcilloso.

#### **a. Características físicas de la arcilla**

Besoain (1985) indica que la proporción de los minerales en una arcilla varía con el tamaño del gránulo, es decir, hay tendencia a que se concentren algunos minerales entre límites de determinado tamaño. Así, el cuarzo, y más aún el feldespato, se acumula preferentemente en la fracción de la arcilla gruesa ( $2-0.2\mu \phi$ ). Por el contrario, los minerales propios de la arcilla son los más abundantes en las fracciones más finas. Por lo general, en tamaños menores a  $0.2\mu \phi$ , existen sólo minerales de arcilla y algunos óxidos (citado en Barranzuela Lescano, 2014).

#### **b. Clasificación de las arcillas**

##### **b.1. Según su origen**

- **Arcillas primarias o residuales:**

Gallegos (2005) afirma que “los depósitos primarios de arcilla se han formado en el mismo lugar que sus rocas madres. Las arcillas derivan directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldespatos”. (citado en Barranzuela Lescano, 2014)

- **Arcillas secundarias o sedimentarias:**

Del Rio (1975) expresa que “los depósitos secundarios resultan del transporte de la arcilla por la acción del agua, viento o del hielo. La arcilla procedente de estos depósitos es la que más abunda en la tierra”. (citado en Ponce Cruz, 2017)

**b.2. Según su composición**

Gallegos (2005) afirma que las arcillas pueden ser clasificadas dependiendo su composición básica. El primer grupo son las calcáreas que contiene alrededor de 15% de carbonato de calcio produciendo ladrillos de color amarillento, el otro grupo de las No calcáreas, que están compuestas por silicato de alúmina, 2 a 10% de óxidos de hierro y feldespato que hacen que al quemar los ladrillos estos tengan una coloración rojiza o salmón (citando en Ponce Cruz, 2017).

Según Huntington, Elison & Mickadeit (1987) este tipo de arcillas son usadas para la elaboración de unidades de albañilería en las que la apariencia estética no es un factor (citado en Mamani Ruiz, 2015).

**b.3. Según su capacidad de absorción de agua**

Del Busto (1991) y Kohl (1975) coinciden en clasificar las arcillas según su capacidad para absorber agua. Así tenemos 2 clases: grasas y magras. Las grasas son arcillas plásticas incluso con poca humedad, ya que presentan una gran concentración de minerales arcillosos y poca concentración de arenas silíceas. Las arcillas magras son

opuestas a las arcillas grasas, por ende, contienen una baja plasticidad, absorben poca agua y contienen abundante arena.

### **c. Propiedades de las arcillas**

“Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente de: su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ), su morfología laminar (filosilicatos) y las sustituciones isomórficas”. (Maldonado Carrasco, 2003)

Las principales propiedades de las arcillas son las siguientes.

#### **c.1. Plasticidad**

“Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas” (Maldonado Carrasco, 2003).

Jiménez Salas, et al (1975) indican que “Esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Limite Líquido, Limite Plástico y Limite de Retracción). (citado en Maldonado Carrasco, 2003)

#### **c.2. Contracción**

“Propiedad de las arcillas que produce una disminución en las dimensiones de lo que se esté moldeando al perder humedad” (Barranzuela Lescano, 2014).

Existen 02 tipos de contracciones se llevan a cabo: Contracción por aire (después de formado la unidad y antes de colocado al horno) y contracción por fuego (durante el proceso de quemado).

Según Schneider y Dickey (1980) “cualquiera de estos tipos de contracciones, si es excesivo, puede causar grietas y deformaciones en la unidad de albañilería” (Barranzuela Lescano, 2014).

#### **c.3. Capacidad de absorción**

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato) (Maldonado Carrasco, 2003).

#### **c.4. Refractariedad**

“Propiedad de las arcillas, que se refiere a la resistencia a los aumentos de temperatura. La variación en el grado de refractariedad de una arcilla a otra se debe al contenido químico de alúmina y sílice” (Mamani Ruiz, 2015).

#### **c.5. Porosidad**

Esta propiedad depende mucho del tamaño de grano que tenga la arcilla. Si la arcilla tiene un tamaño de grano grande la porosidad será mayor que la de una arcilla con un tamaño de grano pequeño. Esta propiedad es importante ya que, al momento de moldear y compactar, las arcillas que tienen granos pequeños quedarán más adheridas unas con otras evitando así espacios vacíos que se forman al acumularse agua en los poros y evaporarse después de cocer la pieza. (Mamani Ruiz, 2015).

#### **c.6. Color**

Generalmente los diversos matices dependen de su contenido químico, pero en este caso no lo determina el contenido de sílice y alúmina, sino que los causantes de la coloración lo determinan las impurezas de origen tanto mineral como orgánico, principalmente: óxido de hierro, óxido de cobalto, óxido de cobre, pentóxido de vanadio, cobalto y el óxido de manganeso (Barranzuela Lescano, 2014).

#### **d. Impurezas frecuentes y su influencia sobre las unidades de arcilla**

Del Rio (1975) afirma que “no hay arcilla perfectamente pura, sino que siempre va acompañada por más o menos cantidad de materias extrañas a ella que constituyen las llamadas impurezas. Estas impurezas pueden encontrarse en ella a partir de su origen; pueden también hallarse accidentalmente o haber sido incorporadas mucho más tarde” (citado en Barranzuela Lescano, 2014).

La ONU (1970) expresa que el carbono es una impureza común en las arcillas y se presenta en forma de raíces, de vetas de turba o en capas delgadas, como en el caso del carbón o disperso en partículas muy finas como en los esquistos carbonosos y bituminosos (citado en Barranzuela Lescano, 2014).

#### **e. Efectos de la calidad de la materia prima con la calidad final de las unidades**

Las características y propiedades de las unidades de arcilla son afectadas por diversos factores, pero determinante es la composición química de la materia prima (Barranzuela Lescano, 2014).

Por ejemplo, el color de las unidades se ve afectada por la presencia de hierro, que en una cantidad menor al 7% proporciona una coloración rojiza, si se presenta un mayor porcentaje se presentará una coloración azul oscura. Además del hierro, el óxido de magnesio, en un porcentaje menor a uno, proporciona una coloración amarilla. El óxido de hierro produce unidades rojas o blancas con porcentajes menores al 5%. La presencia de carbono puede llegar a producir unidades ennegrecidas por dentro si no se ha tomado un adecuado control del proceso de cocción.

Existen algunos minerales tales como sílice, cal y feldespato que proporcionan compacidad a las unidades, de presentarse exceso de estos minerales, se perdería la cohesión y homogeneidad del material. Así, la sílice debe mantenerse en un rango de 50% a 60% y la cal debe encontrarse por debajo del 10%. Estos valores límite también evitan el agrietamiento en el producto final.

La alúmina en porcentajes mayores a cinco, proporciona el aumento de la refractariedad del material.

La presencia de cal, influye en el alabeo. Si se presenta un exceso de cal (mayor a 10%), produciría deformaciones de las unidades. También la presencia de carbono durante el proceso de cocción, llevaría a unidades hinchadas.

Una característica importante en las unidades es que no debe presentar eflorescencia; para ello el porcentaje de álcalis y ácidos presentes en la materia prima debe permanecer por debajo del 0.2%.

Otra de las propiedades a mencionar es la resistencia a la compresión. Entre los componentes que producen efectos sobre ella, está el sulfato de calcio que produciría una unidad quebradiza con poca resistencia si se lleva a cabo una cocción débil.

#### **2.3.1.2 Características del ladrillo de acuerdo al área de orificios**

Según la Norma Técnica Peruana 331.017 ( 2003) los ladrillos se dividen en tres grupos:

1. Ladrillo solido (macizo): con un área neta equivalente al 75% o más del área bruta.
2. Ladrillo perforado: con un área neta equivalente menor al 75% del área bruta.
3. Ladrillo tubular: es el ladrillo con huecos paralelos a la superficie de asiento.

#### **2.3.1.3 Tipos de proceso de fabricación de los ladrillos**

Según la norma técnica peruana los ladrillos pueden fabricarse en tres formas:

1. Artesanal: ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales.
2. Semi-industrial: es el ladrillo fabricado con procedimientos manuales y en ciertos procesos de fabricación se utilizan equipos.
3. Industrial: en este proceso de fabricación, el ladrillo está completamente fabricado con maquinaria.

#### 2.3.1.4 Proceso de fabricación industrial del ladrillo

Para la elaboración de este tipo de ladrillos, es necesario el uso de máquinas y equipos.

##### a) Extracción de la materia prima usando cargador frontal

La materia prima a ser utilizada en la elaboración de ladrillos mecanizados, es extraída por medio de un cargador frontal y lleva a su lugar de almacenamiento mediante volquetes (Ponce Cruz, 2017).



*Figura 1.* Extracción y carguío de la arcilla.  
Fuente: (Ponce, 2017).

##### b) Molienda

Las arcillas después de ser extraída y dosificado en su lugar de acopio, pasan por una máquina de rodillos que rompe las piedras de arcilla más grandes (aproximadamente 50 cm de diámetro máx.) a partículas más pequeñas, teniendo como partículas más grades las del tamaño de una pelota de tenis después de pasar por el rodillo. La máquina de molienda se llama Tolva Dosificadora – alimentadora que sirve para dosificar el material de manera continua, uniforme y controlada.

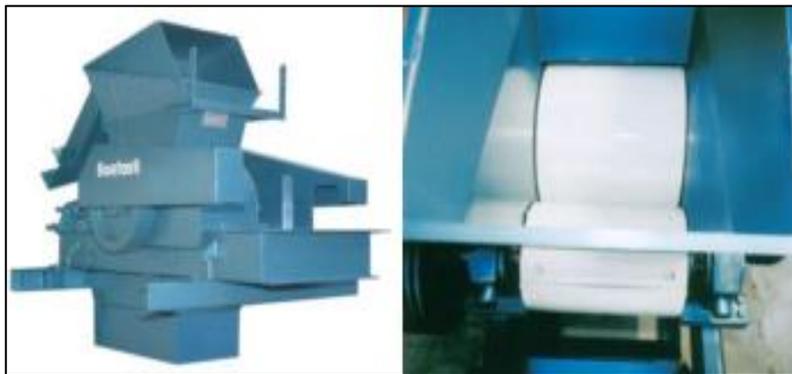
##### c) Pre moldeo

En esta etapa se explicará cada paso previo por el que pasa la arcilla para su moldeo:

- Desintegrador

Se incorpora para obtener una materia prima uniforme ya que cuando la arcilla se presenta en estado natural, presenta un bajo contenido de humedad y grumos duros.

Esta máquina desintegradora rompe las piedras medianas hasta tener partículas pequeñas ya que el paso entre los rodillos es solo de 5mm.



*Figura 2. Desintegrador.*  
Fuente: [www.bonfati.com.br](http://www.bonfati.com.br)

- Laminadora

Esta máquina es importante porque disminuye la presencia de granos medianos de arcilla por el paso entre los rodillos que es de apenas 1mm, pulverizando así completamente los granos de arcilla para su mejor moldeo, ya que la calidad del ladrillo depende del tamaño de las partículas de arcilla.



*Figura 3. Mezcladora.*  
Fuente: [www.bonfati.com.br](http://www.bonfati.com.br)

- d) Moldeo

En este proceso se emplearán maquinas como la extrusora o también conocido como la prensa de vacíos. Esta máquina tiene la facilidad de que al momento de realizar el moldeo consigue una eliminación completa del aire, logrando así una homogenización de la masa.

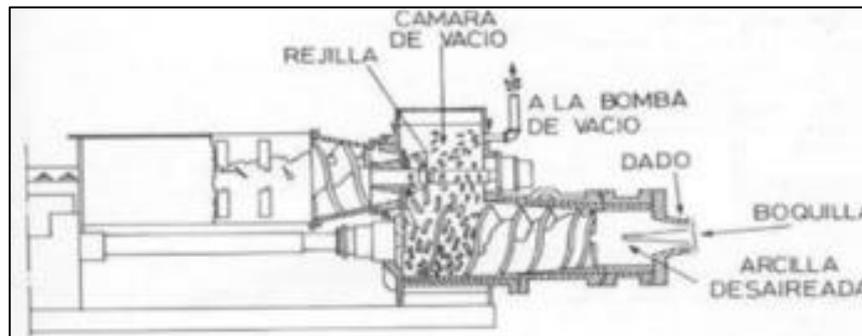


Figura 4. Vista en corte de la Máquina Extrusora.  
Fuente: (Moreno, 1981)

La boquilla que se muestra en la figura es la que se encarga de darle forma de ladrillo a la masa, es una pieza metálica sujeta con tornillos a una placa rectangular de fundición llamado porta boquillas.



Figura 5. Boquilla de la Máquina Extrusora.  
Fuente: (Mamani Ruiz, 2015)

El material que se introduce a la extrusora es húmedo, de plasticidad suficiente para permitir su paso a través de un diafragma perforado (molde). La hélice tiene como función el transporte, la compactación, la compresión y la

extrusión del material. Cuando más grande es la resistencia a la extrusión, mayor debe ser la presión ejercida por la hélice (Mella Stapping, 2004).

e) Corte

El sistema de corte consiste en parrillas de alambres acerados, cuya distancia entre sí determinara la altura del ladrillo. El control de calidad de los procesos de extrusión y cortado es bastante importante, pues determinan directamente las características de diseño y terminación del producto final (Mella Stapping, 2004).



*Figura 6. Cortadora múltiple de ladrillo.*

Fuente: <https://es.made-in-china.com>

f) Secado (en cámara de secados)

El secado puede ser natural o artificial. En el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región. En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire.

Robusté (1969) afirma El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento (Barranzuela Lescano, 2014).

g) Carga al horno

Consisten en llevar los estantes con los ladrillos ya secos pero crudos aún hacia los hornos, al llegar se cambia de estantes a unos de cerámico ya que por el calor de los hornos (sobre los 850 °C) los estantes metálicos podrían llegar a fundirse.

h) Quemado o cocción

En este proceso, que es la más importante, ocurren tres fases que forman parte del ciclo de cocción: PRECALENTAMIENTO, COCCIÓN Y ENFRIAMIENTO.

De 0 °C a 100 °C, se observa la humedad residual del secado, debiendo este de ser lenta para no producir resquebrajamiento por efecto violento de gasificación interna. A 125 °C, se evapora el agua del amasado. A 350 °C, se tiene la calcinación y eliminación del agua. De 500 °C a 700 °C se llega a observar un color rosado a rojo oscuro, representa un rango de preparación para la cocción. De 900 °C a 1000 °C, ocurre la vitrificación, es decir, la fusión. Aquí es importante interrumpir el fuego, puesto que, de persistir la temperatura, el ladrillo se funde, se deforma y pierde resistencia, inclusive se pegan entre ellos (Ponce Cruz, 2017).

La eficiencia de esta etapa depende, entre otros factores, del tipo de horno empleado. Uno de los tipos más usados es el Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman.

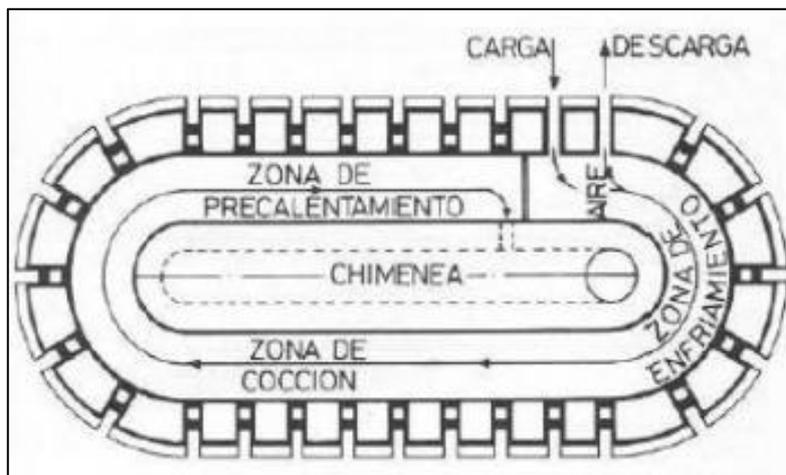


Figura 7. Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman.  
Fuente: (Moreno, 1981)

i) Enfriamiento (aproximadamente 3 días)

El enfriamiento de los ladrillos tiene que ser de manera progresiva ya que el rápido enfriamiento ocasiona roturas de las unidades.

j) Despacho y venta

Este se realiza después del enfriamiento de 3 días, consiste en extraer el ladrillo ya quemado, para su respectivo almacenamiento y listo para su comercialización.

### 2.3.2 El vidrio

“El vidrio es un silicato que funde a 1200 grados. Esta constituido esencialmente por sílice (procedente principalmente del cuarzo), acompañado de caliza y otros materiales que le dan las diferentes coloraciones” (Mata & Galvez, 1996).

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el vidrio es 100 % reciclable, es decir, a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan auto gestionarse de una manera fácil para el beneficio de su medioambiente (Camelo Ramirez, 2009).

### **2.3.2.1 Tipos del vidrio**

Según Camelo Ramirez (2009) hay 10 tipos de vidrio, que son los siguientes:

- Vidrio duro
- Fibra de vidrio
- Vidrio Flint
- Vidrio ligero
- Vidrio Pírex
- Vidrio de Jena
- Vidrio de seguridad
- Vidrio calizo
- Vidrio de borosilicto
- Vidrio de uso farmacéutico

### **2.3.2.2 Propiedades del vidrio**

Saumell (2014) señala que los vidrios pueden tener propiedades ópticas, mecánicas y térmicas, muy diversas según su composición química y tratamientos térmicos. En general, el vidrio se caracteriza por ser un material duro, frágil, transparente y resistente a la corrosión, al desgaste y a la compresión (Ruíz Fernández, 2015).

### **2.3.2.3 Proceso y tecnología para la fabricación del vidrio**

Según Camelo (2009) los conceptos de fabricación de vidrio y resistencia del vidrio al frío y calor, son los siguientes:

- Fabricación del vidrio: El vidrio surge de la fusión a alta temperatura de una mezcla de arena sílica, carbonato de calcio y carbonato de sodio dentro de un horno. El punto en el que la mezcla vítrea pasa de estado sólido a líquido viscoso, varía entre los 1300 y 1500 grados centígrados (Camelo Ramirez, 2009).

- Resistencia del vidrio al frío y calor: La resistencia del vidrio varía de acuerdo a la diferencia en el coeficiente de expansión. (el coeficiente de expansión: medida que define el grado de expansión o contracción que un material sufre al exponerse al frío o al calor). A menor coeficiente de expansión mayor es la resistencia a un cambio brusco de temperatura.

#### **2.3.2.4 Usos y aplicaciones del vidrio**

Hidalgo (2003) menciona que el vidrio es un material con múltiples aplicaciones en diversas áreas, como: el campo cotidiano (doméstico), el industrial y el plano científico. Su uso no solo es estético y comercial, ya que su aplicación ha permitido desarrollar numerosos experimentos claves a lo largo de la historia como: el cultivo de microbios, la invención de tubo de rayos catódicos y el desarrollo de telescopios, microscopios, lentes fotográficos; por mencionar grupos (Ruíz Fernández, 2015).

Desde el punto de vista industrial, es el vidrio utilizado para fines no alimenticios (ventanas, cristales, almacenamiento de productos químicos, fibras ópticas, bombillas, etc.) y desde el punto doméstico, es el vidrio que se utiliza para almacenar productos alimenticios (Mata & Galvez, 1996).

#### **2.3.3 El reciclaje**

Es el proceso o procesos mediante los cuales se extraen materiales del flujo de residuos y se reutilizan o se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos (Camelo Ramirez, 2009).

##### **2.3.3.1 Cambio climático**

El cambio climático en nuestro planeta tierra, con el pasar de los años se volvió un tema de suma importancia y preocupación para todos los países. Este cambio climático es ocasionando, por el modo de producción y el consumo de energías descontrolado,

problemas como “el efecto invernadero”, cambios de clima bruscos, etc. Que está afectando a la población y al hábitat de nuestro planeta.

En muchos sectores ya se están tomando medidas “pro ambientales” pero la responsabilidad no solo es del gobierno de turno, es necesario que en una labor conjunta todos podamos cooperar. Es urgente hacer conciencia de la realidad mundial y hacer cambios en nuestra vida cotidiana, como el uso del transporte público, el uso de electrodomésticos, el uso de producto que no son biodegradables, etc.

### **2.3.3.2 Residuos solidos**

Según Bermúdez (2007) los residuos sólidos de las ciudades son materiales provenientes de la actividad del hombre en su vida cotidiana, que no reúnen características infecciosas, radioactivas y/o corrosivas. Estos residuos se originan en los hogares, restaurantes, edificios administrativos, hoteles, industrias, etc. Y son restos de comidas, papel, cartón, botellas, embalajes de diversos tipos, entre otros (Caballero Meza & Florez Lengua, 2016).

### **2.3.3.3 El vidrio como desecho**

Según Camelo (2009) cualquier objeto de vidrio que es quebrado se convierte en vidrio de desecho, pero no todos producen material libre de impurezas que puedan ser utilizadas para la fabricación de láminas de vidrio.

Tipos de desechos de vidrio comunes utilizados para la producción de fabricación de láminas de vidrio:

- Pedazos rotos de una fábrica o taller de vidrio, de plantas embotelladoras, jarras de comidas, losas de vidrio y utensilios de hogar.

Incluidos bajo supervisión:

- Vidrio de ventana roto y farolas de carros.

Los que nunca se deben incluir:

- Ventanas, luces traseras y parabrisas de automóviles o camiones y bombillas eléctricas.

#### **a. Reciclaje de vidrio**

El vidrio es reciclable en un 100%, y durante el proceso de fusión no se produce pérdida de material. Con cada tonelada de fragmentos de vidrio limpio, se obtiene otra tonelada de vidrio nuevo. La inclusión de cascotes, en el proceso normal de fabricación de vidrio, reduce sensiblemente los costos de producción. (Casco = cada uno de los pedazos de vasija o vaso que se rompe) (Camelo Ramirez, 2009).

Más del 42% de vidrio reciclado procede del doméstico, siendo el sector principal de producción de vidrio recuperable. En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento. Esencialmente dicho proceso consiste en separar los elementos extraños que suelen acompañar al vidrio (papel, plásticos, corchos, piedras, metales, porcelana, etc.). (Mata & Galvez, 1996).

### **2.3.4 El traspaso y propagación del calor**

La necesidad de lograr viviendas con un buen aislamiento ha llevado a la construcción de paredes de espesores altos, no necesarios vistos desde el punto de vista mecánico, pero sí desde el punto de vista térmico. Sin embargo, la tendencia moderna tiende a reducir en cuanto sea posible el espesor y la cantidad de materiales usados, especialmente por razones económicas, lo cual conlleva a la instalación de equipos de calefacción en las viviendas para satisfacer la necesidad que muchas veces no es cubierta con la construcción de muros de albañilería tradicionales (Santos Rocha, 2018).

#### **2.3.4.1 Confort térmico**

Es la sensación de una persona respecto a un ambiente térmico determinado. Según la norma ISO 7730 “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, 2014).

Según Santos (2018) el confort térmico es el resultado de una serie de variables ambientales, que actúan individualmente o en conjunto, que definen las características climáticas del medio y son:

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

#### **2.3.4.2 Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico reúne al conjunto de materiales y técnicas constructivas aplicadas a un espacio para reducir la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios exteriores. Son denominados aislantes térmicos a aquellos materiales que son caracterizados por su baja conductividad térmica o alta resistencia térmica, puesto que establecerán una mayor barrera al paso del calor entre dos ambientes que naturalmente tendrían a igualarse en temperatura (Santos Rocha, 2018).

Los aislantes térmicos constituyen un grupo importante de materiales sólidos en el diseño para transferencia de calor, donde el propósito es reducir el flujo del mismo. Ejemplo de casos como esos incluyen el aislamiento de edificios para minimizar la pérdida de calor en invierno y un termo para conservar caliente el té o café. La solución a cada una de estas situaciones implica el uso del aislamiento térmico (Aguilar Juárez, 2008).

#### **2.3.4.3 Calor**

El calor se puede definir como una sensación. Es producido por la combustión, por el paso de la corriente eléctrica, por la compresión brusca de un gas y también por ciertas reacciones químicas y nucleares. (Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, 2014).

Es importante tener en cuenta que los cuerpos no tienen calor, sino energía interna ya que las partículas de los cuerpos no están en reposo, sino que se encuentran en constante agitación. Por tanto, el término calor debe entenderse como una transferencia de calor de un sistema o cuerpo hacia otro que se encuentre a diferente temperatura y se producirá en dirección de mayor a menor hasta que se alcance el equilibrio térmico (Santos Rocha, 2018).

#### **2.3.4.4 Temperatura**

La temperatura es la medida del nivel energético almacenado por un cuerpo. Está relacionada con la energía interna de un cuerpo conocida como energía cinética asociada a los movimientos de las partículas del sistema. A medida que es mayor esta energía, el sistema se encuentra más caliente, es decir su temperatura es mayor (Santos Rocha, 2018).

La temperatura se mide con termómetro, el cual es calibrado según la escala de medición de temperatura. La escala Kelvin corresponde a una escala de temperaturas absolutas que asocia el valor de cero kelvin (0 K) al cero absoluto, pero existen también otras escalas relativas, como la escala Celsius o Fahrenheit (Santos Rocha, 2018).

#### **2.3.4.5 Métodos de transferencia de calor**

Los textos de transferencia de calor suelen reconocer tres modos distintos de transmisión del calor: conducción, radiación y convección. En rigor, solo la conducción y la radiación debieran clasificarse como procesos de transferencia de calor, porque solo estos dos mecanismos dependen de la simple existencia de un desequilibrio térmico. Por su parte, la convección no satisface de manera estricta la condición de transferencia de calor porque su operación también depende del transporte de masa. Pero como la convección también transmite energía de regiones con mayor temperatura a regiones con menor temperatura, se ha adoptado el término “transferencia de calor por convección” (Aguilar Juárez, 2008).

En los materiales de construcción, la transferencia de calor es considerada como conducción, sin embargo, es prácticamente imposible encontrar un material que sea totalmente homogéneo y por tanto el calor se transmite también en forma de convección y radiación (Santos Rocha, 2018).

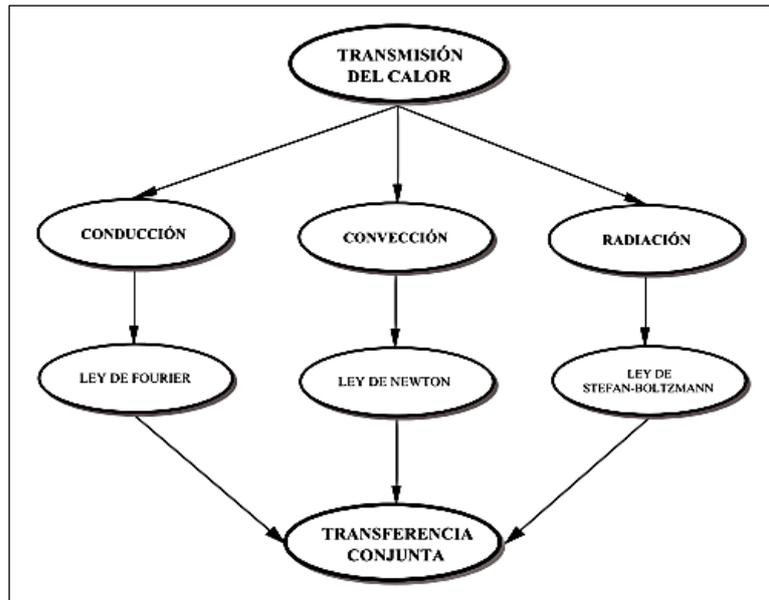


Figura 8. Leyes correspondientes a vías de transferencia de calor.  
Fuente: (Aguilar, 2008)

### a. Conducción

Este proceso consiste en la transferencia de calor que se desplaza desde la región de mayor temperatura a la de menor temperatura en un cuerpo, sin producirse una transferencia de materia entre ellos. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir calor es la conductividad térmica, la cual depende de la estructura microscópica del elemento. En efecto, mientras mayor densidad posea el material por donde fluya el calor, mayor velocidad será la transmisión a través de este (Santos Rocha, 2018).

### b. Radiación

En este proceso la transmisión de energía se produce desde un cuerpo de mayor temperatura que actúa como fuente hacia otro de temperatura más baja, donde la

energía es transportada por ondas electromagnéticas, generalmente rayos infrarrojos, que se propagan a través del espacio. A diferencia de la conducción y la convección, que necesitan de un medio material para propagarse, la radiación es independiente de la materia para su propagación, de hecho, es más efectiva en el vacío (Santos Rocha, 2018).

### **c. Convección**

Este modo de transmisión de calor se caracteriza porque se produce sólo entre líquidos o gases, donde las moléculas son libres de moverse en el medio. La convección transfiere el calor por medio del movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Si se calienta un líquido o un gas, la energía transferida incrementa la temperatura y la energía interna de las partículas del fluido y, por ende, las partículas del fluido con mayor temperatura se moverán hacia una región del fluido con temperatura más baja, donde se mezclarán y transferirán una parte de su energía a otras partículas del mismo fluido (Santos Rocha, 2018).

“La eficiencia de la transmisión de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y de las características del fluido, ya que la convección en sí misma, es el transporte del calor por medio del movimiento del fluido” (Santos Rocha, 2018).

## **2.4 Selección de la prueba estadística de acuerdo al tipo de variable**

Las pruebas de hipótesis están relacionados a la aceptación o rechazo de alguna afirmación sobre el proyecto de investigación.

La selección de una prueba estadística depende: del tipo de diseño que se usó en la investigación, de la pregunta o preguntas que se hizo el autor, del interés particular de los autores, de la distribución de los datos obtenidos en uno, dos o más grupos, de la manera como se recopilaban los datos y del potencial de sesgo y confusión de los datos obtenidos (Gómez Gómez et al., 2013).

La selección de la prueba de estadística también se define por el tipo de variable. Hay dos tipos de variables: CATEGÓRICA Y NUMÉRICA. Según esta investigación, las variables son numéricas, estas variables numéricas se dividen en dos, continuas y discretas. En resumen, las variables continuas se miden y las variables discretas se cuentan. Para este caso, la variable sería continua, eso quiere decir que va existir la distribución normal.

“La generalidad de las pruebas estadísticas parte de la suposición de que los datos de una muestra tienen una DISTRIBUCIÓN NORMAL. Estas pruebas son conocidas como pruebas paramétricas como la T de Student y el análisis de varianza ANOVA” (Gómez Gómez et al., 2013).

En términos generales la distribución normal es la distribución de probabilidad más importante en la estadística. Se la denomina Campana de Gauss, ya que al representar su función probabilística la misma tiene forma de campana (Riquelme, 2016).

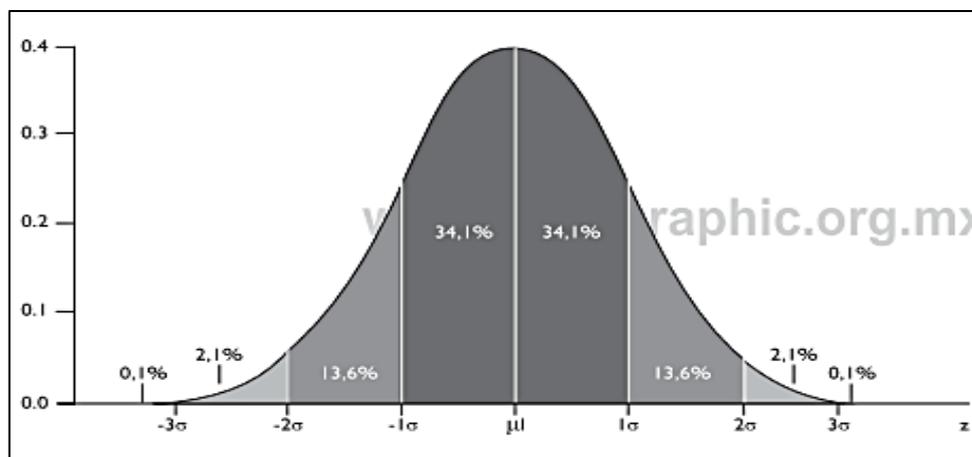


Figura 9. Principales propiedades de la distribución normal (Campana de Gauss).  
 $\mu$  = promedio (media poblacional);  $\sigma$  = desviación estándar.  
Fuente: (Gómez Gómez et al., 2013)

A continuación, se mostrará la siguiente figura donde se indica la prueba estadística a realizarse de acuerdo al tipo de variable.

OBJETIVO COMPARATIVO					
		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
Variable aleatoria \ Variable fija		NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICA
Estudio Transversal Muestras Independientes	Un grupo	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste Binomial	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	T de Student para una muestra
	Dos grupos	X <sup>2</sup> de Homogeneidad Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X <sup>2</sup> de Homogeneidad	U Mann-Withney	T de Student para muestras independientes
	Más de dos grupos	X <sup>2</sup> de Homogeneidad	X <sup>2</sup> de Homogeneidad	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTERsujetos
Estudio Longitudinal Muestras Relacionadas	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student para muestras relacionadas
	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas

Figura 10. Selección de la prueba de acuerdo al tipo de variables.

Fuente: Gonzales Manteiga, Pérez de Vargas Luque (2012)

Antes de poder elegir la prueba estadística que se aplicará en este proyecto de tesis, veremos de manera breve los conceptos de las dos pruebas más importantes: ANOVA y T de Student.

#### 2.4.1 Prueba de hipótesis con la distribución ANOVA

“El análisis de varianza (ANOVA) es un procedimiento mediante el cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes significativos, que luego se observan y se tratan en forma sistemática” (Walpole E. et al., 2012).

ANOVA será especialmente útil en aquellos supuestos en los que queramos analizar distintas situaciones o alternativas de actuación y donde de alguna forma podemos intervenir en la realización del experimento. En el contexto ANOVA y ANCOVA nos encontraremos la mayoría de la veces ante datos EXPERIMENTALES (controlables y/o repetibles en mayor o menor grado) (Vicéns Otero et al., 2005).

En otras palabras, cuando se desee hacer comparaciones de más de dos poblaciones a la vez, una alternativa es compararlos con el método de Análisis de Varianza ANOVA.

Esta prueba estadística a su vez, se divide en dos: ANOVA con un factor inter sujetos y ANOVA para medidas repetidas.

#### **2.4.1.1 ANOVA con un factor o unifactorial**

“El ANOVA de un factor sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Se trata, por tanto, de una generalización de la Prueba T para dos muestras independientes al caso de diseños con más de dos muestras” (Ávila Parco, 2016).

ANOVA de un factor (también llamada ANOVA unifactorial o one-way ANOVA en inglés) es una técnica estadística que señala si dos variables (una independiente y otra dependiente) están relacionadas en base a si las medias de la variable dependiente son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente. Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes (Cardenas, 2015).

Las condiciones para emplear la prueba estadística ANOVA unifactorial según Cárdenas (2015) son los siguientes:

- En ANOVA de un factor solo se relacionan dos variables: una variable dependiente (o a explicar) y una variable independiente (que en esta técnica se suele llamar factor)
- La variable dependiente es cuantitativa (escalar) y la variable independiente **es** categórica (nominal u ordinal).
- Se pide que las variables sigan la distribución normal.
- También que las varianzas (es decir, las desviaciones típicas al cuadrado) de cada grupo de la variable independiente sean similares (fenómeno que se conoce como homocedasticidad). Aunque esto es lo ideal, en la realidad cuesta de cumplir, e igualmente se puede aplicar ANOVA.

#### **2.4.1.2 ANOVA para medidas repetidas**

El ANOVA para medidas repetidas podemos considerarlo como una generalización del contraste de medias para datos relacionados (dependientes o apareados). Aquí

aplicamos 2 o más tratamientos a un mismo grupo de sujetos. Es una prueba, bastante más compleja que los contrastes de medias, donde podemos comprobar no solamente el efecto de varias variables intrasujetos sino también varias variables intersujetos. Podemos incluso temporalizar las diferentes medidas y tratar una nueva variable tiempo, como cuantitativa (Camacho, 2015).

Cuando las variables a comparar son mediciones distintas pero sobre los mismos sujetos, no se cumple la condición de independencia, por lo que se requiere un ANOVA específico que realice comparaciones considerando que los datos son pareados (de forma similar como se hace en los t-test pareado pero para comparar más de dos grupos) (Joaquín Amat, 2016).

#### **2.4.2 Prueba de hipótesis con la distribución T de Student o Test-T**

La t de student, inicialmente se diseñó para examinar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas. (Sánchez Turcios, 2015).

La metodología a seguir en la distribución T de student es el siguiente, según Sánchez Turcios (2015)

- Probar que cada una de las muestras tiene una distribución normal.
- Obtener para cada una de las muestras el tamaño de las muestras ( $n_1$  y  $n_2$ ), sus respectivas medias ( $m_1$  y  $m_2$ ) y sus varianzas ( $v_1$  y  $v_2$ ).
- Probar que las varianzas sean homogéneas.
- En caso de homogeneidad en estas varianzas, establecer la diferencia entre las medias ( $m_1 - m_2$ ) y calcular la varianza común de las dos muestras.

$$vc = \frac{((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2)}{(n_1 + n_2 - 2)} \quad (2)$$

Es decir, la varianza común ( $vc$ ) es igual a un promedio pesado de las varianzas de las dos muestras en donde los pesos para ese promedio son

iguales al tamaño, menos uno (n-1) para cada una de las muestras, con esa varianza común, se calcula el error estándar de la diferencia de las medias.

$$ESM = \sqrt{\frac{(vc)(n1 + n2)}{(n1n2)}} \quad (3)$$

- Finalmente, la t de student es igual al cociente de la diferencia de medias entre el ESM anterior.
- De acuerdo con las hipótesis planteadas (alternas) y la hipótesis nula se debe demostrar que existe diferencias entre las medias de las muestras, se consulta una tabla de t-Student con grado de libertad igual a  $n1 + n2 - 2$  y se calcula el valor de P.

Después de saber los conceptos básicos de las pruebas estadísticas ANOVA y T de Student, retornando a la figura 13, se decidió usar la prueba ANOVA CON UN FACTOR INTERSUJETOS para validar la hipótesis de este proyecto de investigación.

## **Capítulo 3. Materiales y Métodos**

### **3.1 Metodología, tipo y nivel de investigación**

#### **3.1.1 Método de investigación**

Para este proyecto de investigación, según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014), la metodología de investigación fue de acuerdo al enfoque CUANTITATIVO ya que se determinó una hipótesis, se estableció variables, se formuló un diseño para poder ser probadas, se analizó los resultados obtenidos y finalmente se llegó a conclusiones con respecto a la hipótesis.

#### **3.1.2 Tipo de investigación**

De este tipo de investigación, dependerá la precisión, profundidad y amplitud de la información necesaria que se requiera para ejecutar, es por ello que, de acuerdo a la metodología de investigación, el tipo apropiado para la investigación fue el EXPERIMENTAL, donde se hizo una medición de variables (independientes y dependientes).

#### **3.1.3 Nivel de investigación**

Según Supo (2016) el nivel de investigación de este proyecto de tesis es el EXPLICATIVO ya que este explica el comportamiento de una variable o más (conductividad térmica, propiedades físicas y propiedades mecánicas) en función de otra (porcentaje de vidrio adicionado a la unidad de albañilería).

Hernández Sampieri et al. (2014) afirma que los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físico o sociales.

## **3.2 Formulación de hipótesis**

### **3.2.1 Hipótesis general**

La adición del 15 a 30% de vidrio en las unidades de arcilla cocida (ladrillos) origina cambios significativos en las propiedades térmicas del mismo, sin alterar sus propiedades mecánicas y físicas contribuyendo a aminorar en parte el problema del friaje en las zonas alto andinas del Perú.

### **3.2.2 Hipótesis específicas**

La adición de vidrio no afectará negativamente en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de arcilla cocida (ladrillos).

La adición de vidrio originará cambios significativos en su conductividad térmica especificado en el RNE EM 110 anexo N°03.

El costo de producción por unidad de las nuevas unidades de arcilla cocida con vidrio no tendrá una variación significativa en comparación al costo de mercado del ladrillo convencional.

## **3.3 Variable a observar en el desarrollo experimental**

La variable a estudiar fue el porcentaje de vidrio triturado incorporado, su incidencia en la conductividad térmica, en sus propiedades estructurales y no estructurales.

## **3.4 Proceso experimental**

Para lograr los objetivos ya señalados y teniendo en cuenta el tipo de ladrillo a fabricar (King Kong 18 huecos), primeramente, se seleccionó el diseño de mezcla más óptimo para la unidad de albañilería y tomando de base este diseño, poder adicionar el vidrio molido en diferentes porcentajes. Este diseño de mezcla dependió de sus características principales como su granulometría, composición química e índice de plasticidad. Para esta etapa se hicieron los ensayos por canteras independientes y finalmente una comprobación del diseño de mezcla seleccionado.

Seguidamente se elaboraron los ladrillos KK 18 huecos a partir del diseño de mezcla escogido y comprobado, se adicionaron porcentajes diferentes de vidrio molido (15, 20 y 30 %) y también se fabricó una muestra patrón. El criterio usado para el tamaño de partículas del vidrio, es el correcto acomodo de estas con el diseño de mezcla patrón, sin dejar espacios vacíos en las unidades de albañilería para no afectar sus propiedades físicas y mecánicas de la unidad de albañilería. Para la elaboración de las unidades de albañilería se usaron el envase de vidrio de bebidas alcohólicas tales como anisado, vino y cerveza.

Durante el proceso de elaboración de los ladrillos, participaron las maquinarias tales como: desintegrador, mezcladora, laminadora y maquina extrusora. Los cuales garantizan la calidad y el acabado del producto terminado.

Posteriormente se realizaron los ensayos clasificatorios y no clasificatorios a los 3 diseños propuestos y al diseño patrón de las unidades de albañilería King Kong 18 huecos para determinar sus propiedades físicas (incluido el ensayo de conductividad térmica) y mecánicas de los mismos.

Finalmente, en la última etapa de investigación, se analizaron los resultados obtenidos de los ensayos y se hizo la clasificación del tipo del ladrillo de acuerdo a la norma RNE E 0.70.

### 3.4.1 Flujograma para ejecución del proyecto de investigación



Figura 11. Flujograma para la ejecución del proyecto de investigación

### 3.5 Diseño de la investigación

Según Fleiss (2003), O'Brien (2009) y Green (2003) el DISEÑO EXPERIMENTAL es "un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuesto efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (citado en Hernández Sampieri et al., 2014).

Tabla 6  
Diseño experimental de variables

OBJETO	VARIABLE IND.	VARIABLE DEP.	VARIABLE DEP.	VARIABLE DEP.
	% de vidrio triturado a incorporar	Conductividad Térmica de los ladrillos	Propiedades físicas de los ladrillos	Propiedades mecánicas de los ladrillos
Ki ng Ko	0 %	M <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>

15 %	M <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
20 %	M <sub>3</sub>	N <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>
30 %	M <sub>4</sub>	N <sub>4</sub>	O <sub>4</sub>

Fuente: Propia

### 3.6 Cuantificación del número de muestras

Para calcular el tamaño de muestra estadísticamente, se usó la fórmula para poblaciones desconocidas y variables cuantitativas.

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{e^2} \quad (4)$$

Donde:

n: tamaño de muestra

Z: nivel de confianza

e: error permitido

S: desviación estándar estimado (obtenido de estudios pilotos)

Finalmente, el resultado fue el siguiente para un nivel de confianza del 95% y un error permitido del 5%.

$$n = \frac{1.96^2 * 19.76^2}{5^2} \quad (5)$$

$$n = 60 \quad (6)$$

Entonces el tamaño de muestra estadísticamente se calcularon 60 unidades de albañilería, en total se fabricaron 70 unidades de albañilería ya que durante el secado o quemado quedan ladrillos que no servirán para los ensayos.

En base al tamaño de muestra resultante y de acuerdo al requerimiento del reglamento E.070 y NTP 331.018, se distribuyó la cantidad de elementos para cada ensayo.

En la siguiente tabla se muestra de manera detallada el número de muestras a ensayar por prueba y el total de ellos.

Tabla 7  
*Cuantificación de muestra por diseño*

<b>Ensayos en laboratorio</b>	<b>Cantidad de unidades a ensayar</b>
Variación dimensional, alabeo y porcentaje de vacíos	10
Absorción	5
Absorción máxima	5
Densidad	5
Succión	5
Eflorescencia	6
Resistencia a compresión	5
Compresión diagonal en muretes (unidades por murete)	15
Conductividad térmica	4
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>

Fuente: Propia

### **3.7 Diseño de mezcla patrón**

#### **3.7.1 Ensayo a la materia prima**

Esta primera etapa de ejecución fue la más delicada de todo el proyecto ya que del diseño de mezcla patrón seleccionado dependió el buen desempeño de los ladrillos al ensayarlos y de este modo poder analizar con mayor exactitud los resultados por la adición de vidrio en los ladrillos y no la respuesta de los mismos por un mal diseño de mezcla.

Se realizaron tres ensayos decisivos para poder determinar el diseño de mezcla patrón: análisis granulométrico por tamizado y sedimentación, límites de consistencia y composición química.

##### **3.7.1.1 Análisis granulométrico por tamizado**

Para realizar este ensayo se utilizó el método descrito en la norma MTC E 107 – 2016 (NTP 339.128/ASTM D422). El método de granulometría por tamizado que se describe en las normas, indica que tienen que ser lavados en la malla N° 200 (0.075 mm) antes de

ser tamizados por el juego de mallas ya indicados y así poder evitar una falsa granulometría.



*Figura 12.* Juego de tamices.  
Fuente: Propia

Para el ensayo de las arcillas, dado al elevado nivel de finos para ensayar, no se hizo el ensayo de granulometría ya que al ser lavado por la malla N° 200 el porcentaje que retiene de las muestras en promedio es del 8% a diferencia de la arena que si se hizo el ensayo de granulometría por tamizado por no contener más del 50 % de finos.

El lavado de muestra que se hace antes del tamizado se hizo de la siguiente manera: primero se pesó la muestra a ensayar, posteriormente se colocó la muestra (materia prima) en un recipiente cubriéndola por completo con agua el tiempo necesario para poder ablandar los terrones, seguidamente se lavó la muestra con un chorro de agua constante sobre el tamiz de lavado N° 200 hasta que el agua que pasó a través del tamiz fue transparente. A continuación, la muestra retenida en el tamiz fue llevado al horno por 24 horas a una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.

Para poder conocer el porcentaje de finos en una muestra, se calcula por la diferencia entre el peso inicial antes del lavado y el peso final después del lavado.

El juego de tamices usado en el ensayo de granulometría es diferente si se trata de arcillas o arenas. En este caso para las arenas el juego de tamices que se usó es el N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.

### **3.7.1.2 Análisis granulométrico por sedimentación**

Este ensayo se realizó según la norma MTC E 109 – 2016 (ASTM D 854). La norma indica que este análisis se basa en la ley de Stokes la cual se aplica a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños.

El análisis granulométrico por sedimentación o con hidrómetro es para suelos pasantes la malla N° 200. La cantidad de muestra que se usó fue de 60 gr. Después de pesar, la muestra se colocó en una probeta junto con la solución deflocuante por un lapso de tiempo de 24 horas. Pasado el tiempo se procedió al registro de las lecturas por el hidrómetro que previamente se introdujo en la probeta con la muestra de suelo y el deflocuante.

La ejecución del ensayo se realizó en el laboratorio de Mecánica de suelos de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA). La muestra que se empleó para el ensayo fue la composición de arcilla (cantera 1), arcilla (cantera 2) y arena (cantera 3) en proporción 1:1:1.

### **3.7.1.3 Límites de consistencia o Atterberg**

Los límites de consistencia se utilizan para determinar los rangos o límites de humedad donde un suelo puede comportarse de manera plástica (manejable al tacto) o si puede ser líquida (sin llegar a ser fluido viscoso).

Una vez calculado los límites de consistencia se procede a calcular el INDICE DE PLASTICIDAD que viene siendo la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). Entonces, se puede decir que el índice de plasticidad (IP) es el rango de humedad en el que el suelo tiene un comportamiento plástico.

Para el moldeo de unidades de albañilería de arcilla, es necesario que el IP sea  $\leq 10$ . Ya que un índice de plasticidad menor dificultaría el amasado del suelo.

- a. Limite liquido: Corresponde al contenido de humedad MAXIMO que un suelo puede tener y ser moldeable aún. Este ensayo se realizó en base a la norma MTC E 110 – 2016. Para este ensayo se utilizó una cuchara normalizada (cuchara de Casagrande). El suelo saturado por 24 horas fue colocado en la cuchara y luego con la ayuda de un acanalador se realizó un surco y seguidamente se dejó caer la cuchara por 25 veces a una frecuencia de 2 caídas por segundo.



*Figura 13.* Cuchara de Casagrande  
Fuente: Propia

- b. Limite plástico: A diferencia del límite liquido representa el contenido de humedad MINIMO que tiene un suelo para ser moldeable. Con el suelo ya saturado y la palma de la mano se empezaron a hacer unos pequeños tubos de 3 mm de diámetro hasta que empiecen a presentar grietas.



Figura 14. Muestras de suelo para ensayos de límites de consistencia.

Fuente: Propia

#### 3.7.1.4 Composición química

Para la determinación de componentes químicos que poseen las materias primas (arcillas y arena) fue necesario realizar el ensayo en LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR, laboratorio dedicado exclusivamente para ensayos de esta índole. Los ensayos que se realizaron fueron los siguientes:

- Ensayo por fusión alcalina – absorción atómica.
- Ensayo por digestión específica – absorción atómica
- Determinación de pérdidas de calcinación por gravimetría (LOI).

#### 3.7.2 Resultados obtenidos para el diseño de mezcla

Para la realización del diseño de mezcla, se examinaron los suelos que utiliza la ladrillera LATESA. En total fueron tres muestras examinadas, dos tipos de arcillas y un tipo de arena.



Figura 15. Muestras de suelo (C1, C2 y C3).

Fuente: Propia

### 3.7.2.1 Análisis granulométrico por tamizado e hidrómetro

Antes de hacer el ensayo de análisis granulométrico por tamizado primeramente se lavó la muestra con la malla N° 200 seguidamente se realizó el tamizado por el juego de mallas N° 4, 8, 10, 20, 40, 60, 100 y N° 200 y finalmente se complementó con el ensayo del hidrómetro para suelos pasantes las malla N° 200.

El resultado después del lavado de muestra indica que el 75.926 % del total, paso por la malla N° 200 indicando que es necesario el ensayo de granulometría por hidrómetro por contener un alto contenido de partículas finas.

La curva granulométrica de la combinación de las tres canteras relación 1-1-1 por tamizado e hidrómetro se grafica de la siguiente manera:

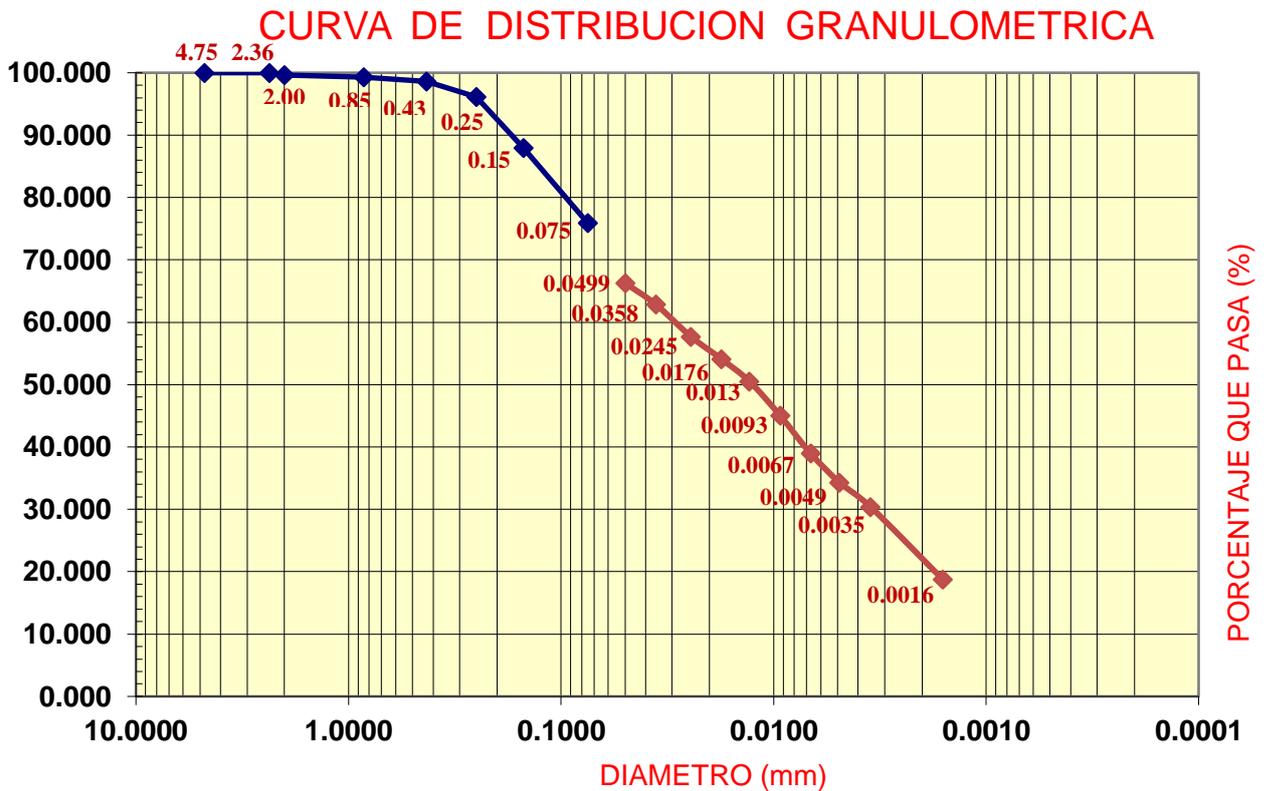


Gráfico 1. Curva granulométrica del diseño de mezcla combinación 1-1-1.  
Fuente: Propia

El coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc) fueron los siguientes:

- Coeficiente de uniformidad = 176.67
- Coeficiente de curvatura = 2.39

Por otro lado, la gráfica indica que el 21.22% corresponde a la arcilla (diámetro inferior a 0.002 mm), 44.65 % de arena fina (diámetro mayor a 0.02 mm) y un 34.13 % de limo (diámetro entre 0.02 y 0.002 mm) de la muestra total que hay en el diseño de mezcla ensayado.

### 3.7.2.2 Límites de consistencia

Al igual que el análisis granulométrico, en este ensayo se realizó con la combinación de las arcillas y la arena en una relación de 1-1-1. A diferencia del ensayo de sedimentación que se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano

(UNA), este se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Peruana Unión (UPeU).

El resultado del ensayo se ubicó en la carta de plasticidad de la siguiente manera:

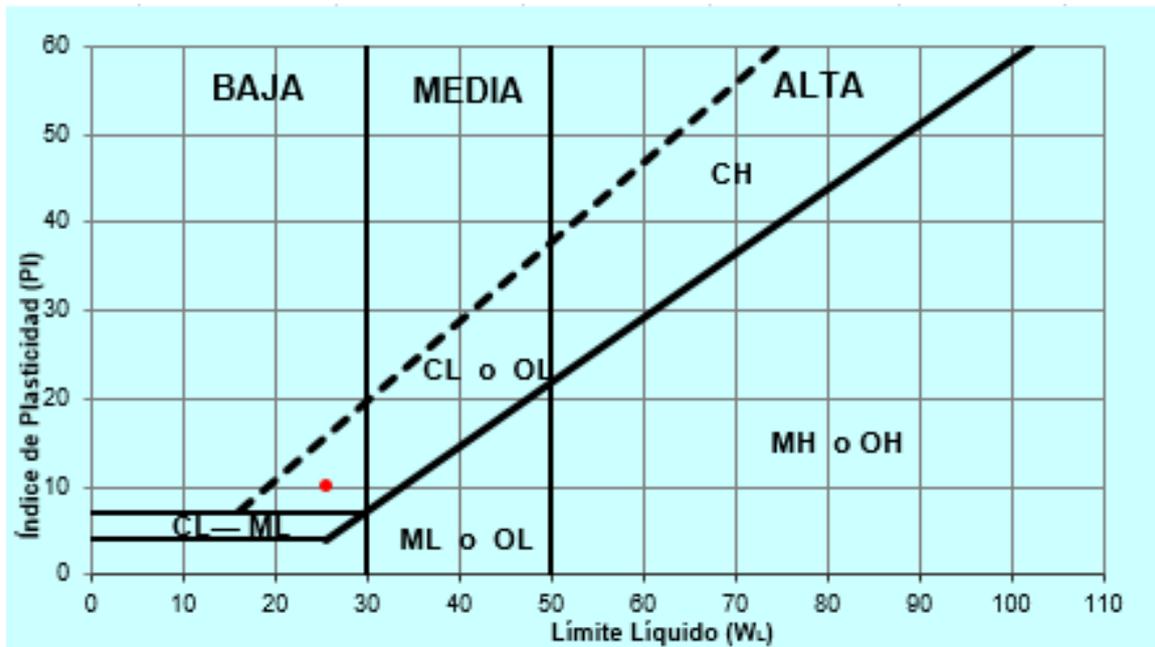


Gráfico 2. Carta de plasticidad del diseño de mezcla combinación 1-1-1.  
Fuente: Propia

Según los ensayos realizados, los resultados fueron los siguientes:

- Límite Líquido de 25.79 %.
- Límite Plástico de 15.45 %.
- Índice de Plasticidad de 10.34 %.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la carta de plasticidad, el diseño de mezcla se clasifica como ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD con simbología CL.

Este resultado es consecuencia del índice de plasticidad bajo que presenta el suelo, superando ligeramente el nivel mínimo de IP que se recomienda para la extrusión en ladrillos mecanizados.

### 3.7.2.3 Composición química

En cuanto a la composición química, se hizo el análisis por separado a cada una de las canteras en los Laboratorios Analíticos del Sur para después elaborar la composición química para la combinación 1-1-1 (arena y arcillas).

El resultado de los ensayos para cada cantera son los siguientes:

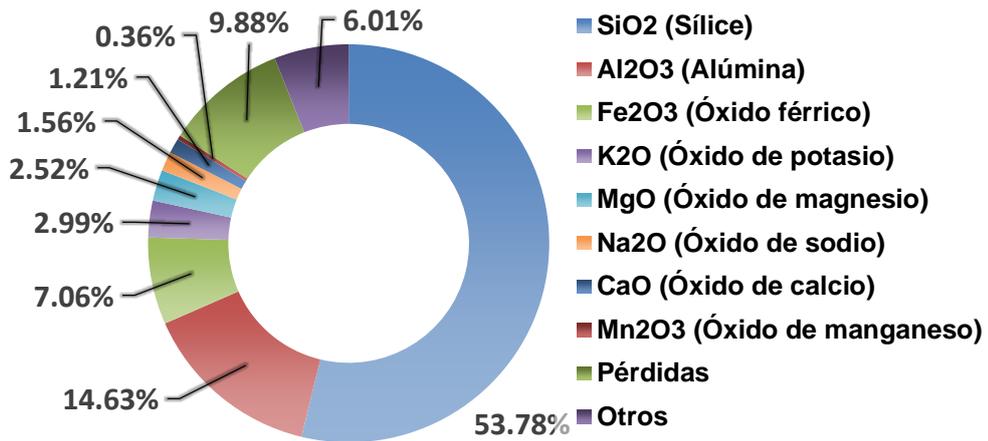


Gráfico 3. Composición química de la cantera N° 1 - arcilla.  
Fuente: Propia

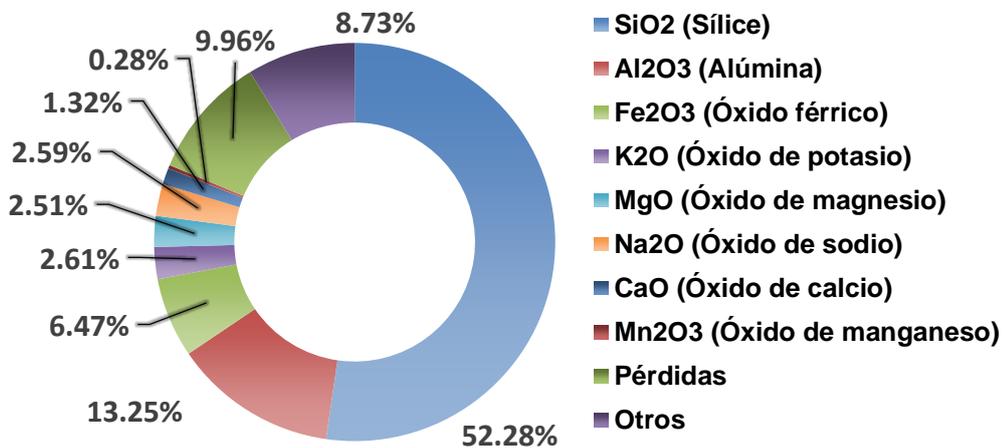


Gráfico 4. Composición química de la cantera N° 2 - arcilla.  
Fuente: Propia

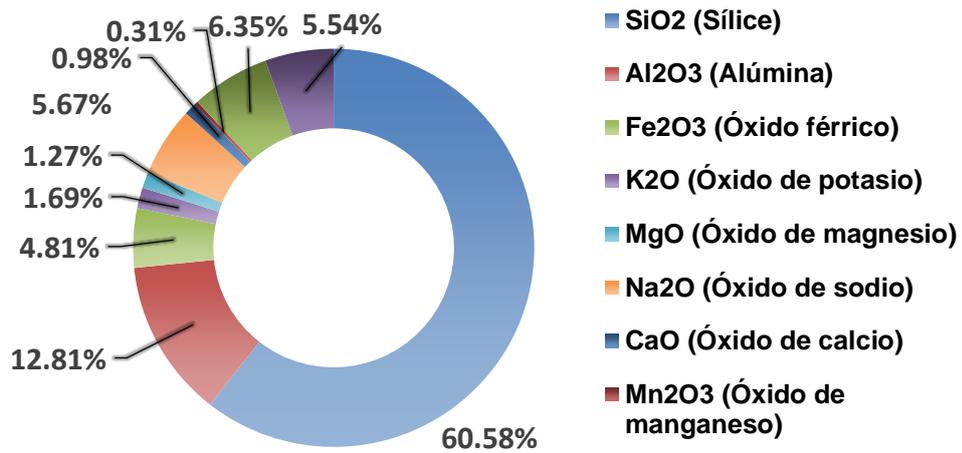


Gráfico 5. Composición química de la cantera N° 3 - arena.  
Fuente: Propia

Ya con los resultados obtenidos de los ensayos realizados, se hizo la combinación de canteras para el diseño de mezcla 1-1-1 (arcilla N° 1, arcilla N°2 y arena).

El resultado de la combinación fue el siguiente:

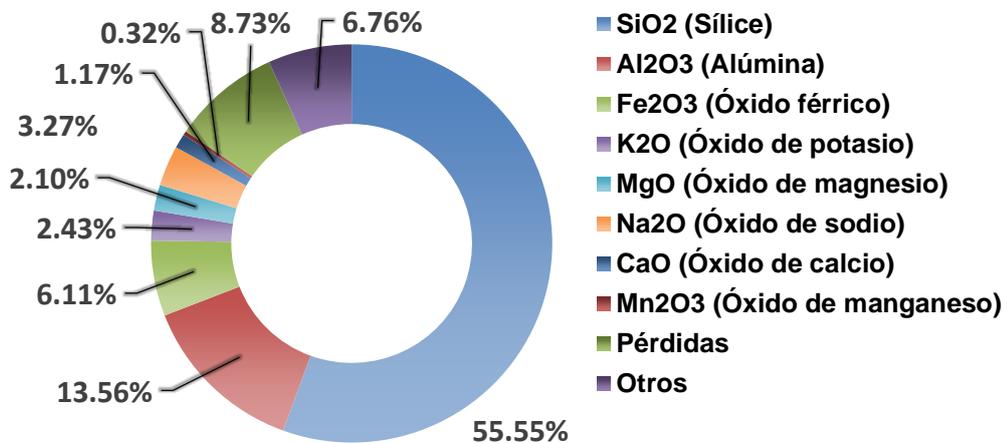


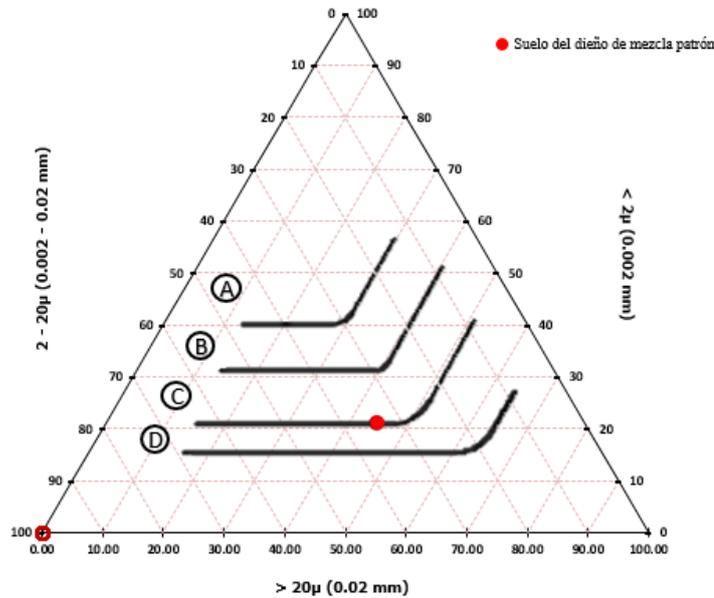
Gráfico 6. Composición química del diseño de mezcla combinación 1-1-1.  
Fuente: Propia

Una vez culminado los ensayos necesarios para la elección del diseño de mezcla patrón, se procede a analizar cada uno de los resultados para poder conocer si estos son los ideales para la elaboración de ladrillos mecanizados.

En cuanto al análisis de granulometría, los resultados obtenidos se ubicarán en el diagrama de Winkler. En este diagrama de productos según Winkler, los suelos se

pueden clasificar según su granulometría y está dividido en tres grupos principales: arcillas, limos y arenas.

La ubicación del diseño de mezcla 1-1-1 en el diagrama de Winkler es el siguiente:



- A : Alta calidad - producción difícil**
- B: Tejas**
- C: Piezas Huecas**
- D: Piezas macizas y semihuecas**

Gráfico 7. Diagrama de Winkler.  
Fuente: Propia

Según el resultado, el diseño de mezcla se ubica justo en la línea que divide la zona C y la zona D, ya que para pueda ubicarse en la zona D se necesita menos cantidad de arcilla. Pero al estar al límite la muestra del diseño patrón, puede funcionar para PIEZAS SEMIHUECAS.

Los resultados del ensayo de límites de consistencia, indicaron que tiene un índice de plasticidad (IP) de 10.34, por tener un límite líquido de 25.79 y un límite plástico de 15.45.

Bain J.A. (1968) elaboro un campo de "procesamiento óptimo" y un área de "comportamiento aceptable" para el moldeo de unidades de albañilería por extrusión. El

campo de procesamiento óptimo está definido por los valores de IP= 15 a 30, y LP de 15 a 25 y el campo de comportamiento aceptable está definido por los valores de IP= 10 a 35 y LP= 15 a 35. (Abdeen & Shihada, 2017)

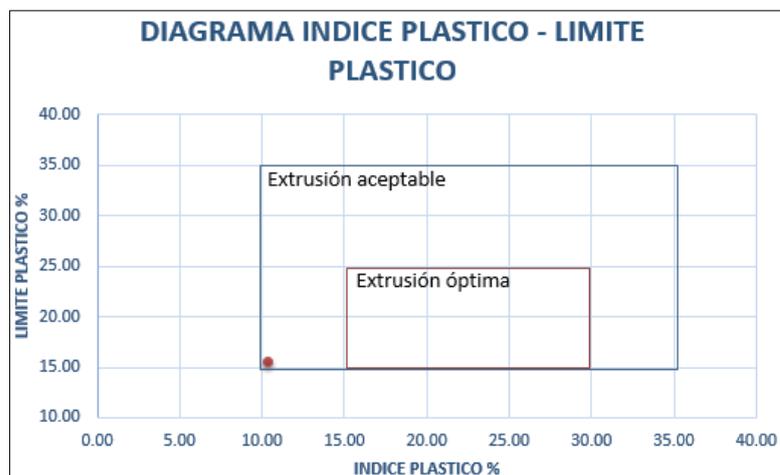


Gráfico 8. Diagrama de índice de plasticidad – límite plástico con indicación de campos adecuados para una conformación óptima y aceptable de mezclas de ladrillos.  
Fuente: CITAR CON MENDELEY (ART. ITALIANO)

De acuerdo al diagrama de Bain, el diseño de mezcla patrón que se ensayó está en el límite inferior del área de “comportamiento aceptable” para el moldeo por extrusión. Eso indica que la muestra puede ser usado como mezcla patrón.

En cuanto al ensayo de composición química de las muestras, el libro Caracterización de las arcillas en el Perú (2006) establece un límite máximo y mínimo para los componentes químicos presentes en ladrillos huecos y macizos.

Tabla 8  
*Composición química para ladrillos (huecos y macizos)*

<b>Composición Química</b>	<b>Lim. mín - Lim. máx.</b>
SiO <sub>2</sub> (Sílice)	49.20 - 68.00 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alúmina)	10.20 - 19.40 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido férrico)	2.7 - 8.0 %
MgO (Óxido de magnesio)	0.5 - 2.9 %
CaO (Óxido de calcio)	0.3 - 9.4 %
Na <sub>2</sub> O (Óxido de sodio)	0.3 - 1.2 %
K <sub>2</sub> O (Óxido de potasio)	1.3 - 4.9 %
TiO <sub>2</sub> (Óxido de titanio)	0.3 - 1.7 %
CaCO <sub>3</sub> (Carbonato de calcio)	0.0 - 18.0 %
Material orgánico	0.04 - 0.56 %

Azufre total	0.08 - 0.16 %
PPR	5.8 - 9.9 %

Fuente: (Caracterización de las arcillas en el Perú, 2006)

Los resultados del diseño de mezcla patrón están dentro de los parámetros mínimos y máximos a excepción del óxido de sodio, que el máximo es 1.2 % y en diseño tiene un 3.273 % haciendo que aumente la dilatación por humedad facilitando su permeabilidad. Pero la suma del óxido de potasio y óxido de sodio por ser mayor al 4 % (5.703 %) acelera el proceso de vitrificación y por ende aumenta una de las propiedades más importantes de las unidades de albañilería: su resistencia a compresión.

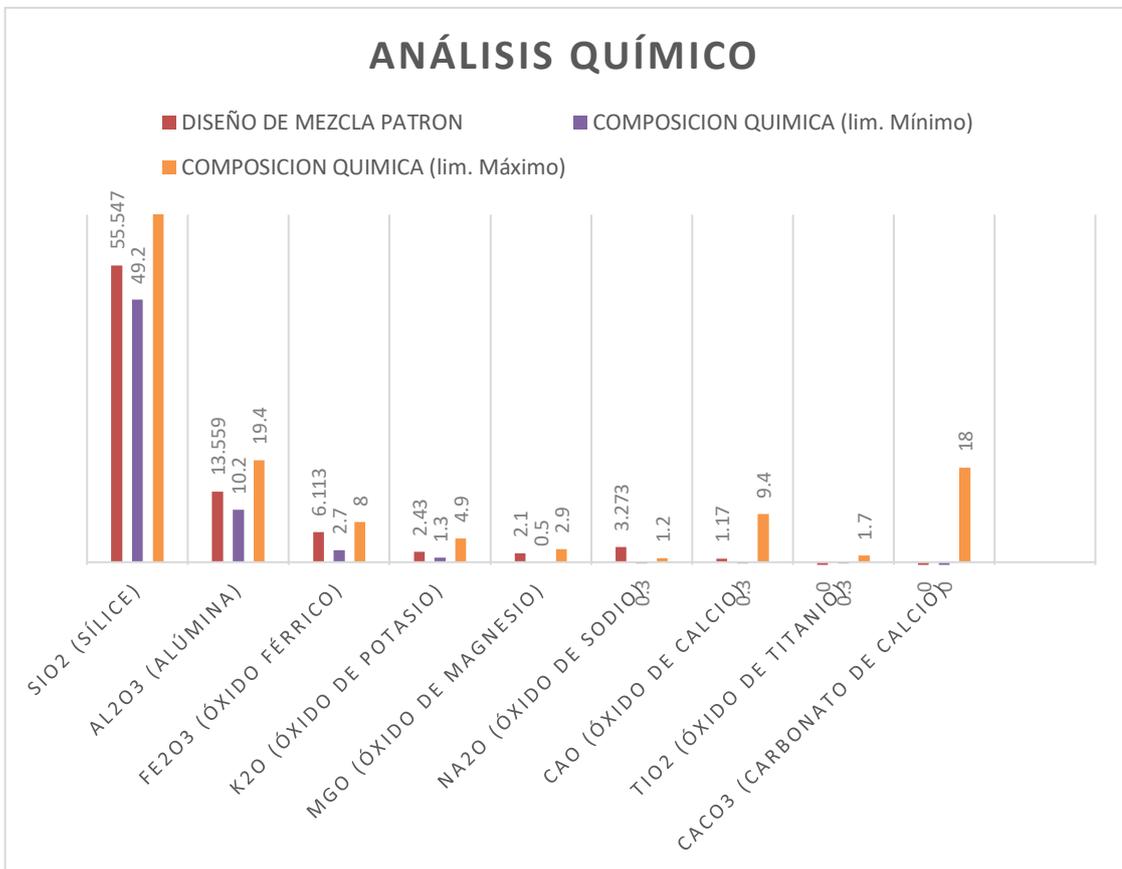


Gráfico 9. Comparación de la composición química de la muestra y los límites máximos y mínimos permitidos para el uso en mezclas de ladrillos.

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se indica el diseño de mezcla más detallado en cuanto a su composición química.

Tabla 9  
*Combinación para la mezcla optima de ladrillos*

<b>DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN</b>	
SiO <sub>2</sub> (Sílice)	55.547
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alúmina)	13.559
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido férrico)	6.113
K <sub>2</sub> O (Óxido de potasio)	2.43
MgO (Óxido de magnesio)	2.1
Na <sub>2</sub> O (Óxido de sodio)	3.273
CaO (Óxido de calcio)	1.17
TiO <sub>2</sub> (Óxido de titanio)	0
CaCO <sub>3</sub> (Carbonato de calcio)	0
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de manganeso)	0.318
Pérdidas	8.73
Otros	6.76
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Propia

En conclusión, el diseño de mezcla relación 1 (cantera N°1, arcilla), 1 (cantera N°2, arcilla) y 1 (cantera N°3, arena) puede ser usado para la elaboración de ladrillos mecanizados, y por tener un IP bajo no necesitaría mucho tiempo para el secado y su variación dimensional no sería significativo por no necesitar mucha agua para su extrusión.

Como en todos los casos, es difícil conseguir una cantera de arcilla que cumpla con todas las exigencias que una mezcla para ladrillos necesita.

### **3.7.3 Dosificación del polvo de vidrio en la materia prima**

Ya con el diseño de mezcla patrón definido, se decidió utilizar tres diferentes porcentajes de polvo de vidrio: 15, 20 y 30 % en la composición de la masa de ladrillo. La cantidad de vidrio que se incorporo fue en reemplazo de la masa sola (sin el peso del agua).

En la siguiente tabla se muestra el peso reemplazado por polvo de vidrio en cada una de sus dosificaciones.

Tabla 10

*Dosificación del polvo de vidrio con relación al peso del ladrillo*

	Nomenclatura	Peso total del ladrillo (gr)	Polvo de vidrio adicionado (gr)
Diseño 0%	DM0	2950	0
Diseño 15%	DM15	2507.5	442.5
Diseño 20%	DM20	2360	590.0
Diseño 30%	DM30	2065	885.0

Fuente: Propia

### 3.7.3.1 Análisis granulométrico

Se hizo el ensayo de análisis granulométrico al polvo de vidrio para saber si será necesario hacer el ensayo de sedimentación y poder conocer la cantidad de finos que retiene cada tamiz. El juego de tamices que se utilizó fue el mismo para los agregados finos (considerando que el vidrio tiene propiedades similares a la arena).

Los tamices utilizados fue N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y tamiz de fondo. La curva granulométrica se graficó de la siguiente manera:

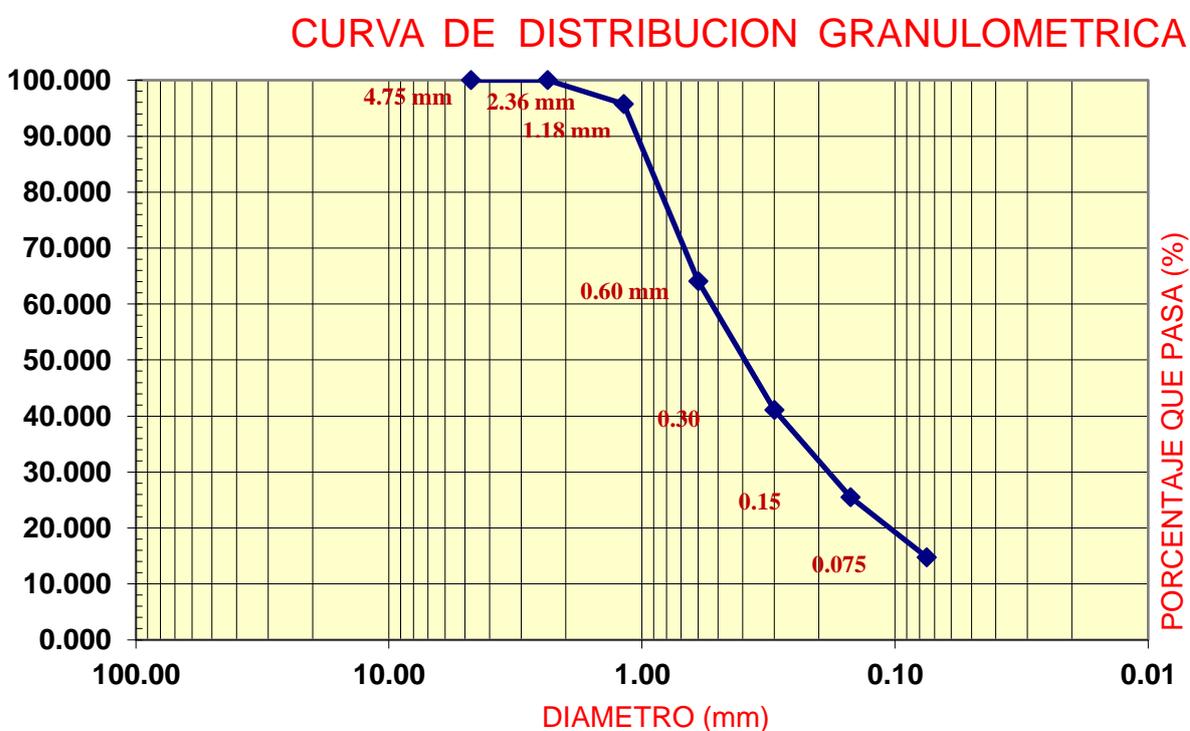


Gráfico 10. Curva granulométrica del polvo de vidrio.

Fuente: Propia

El tamaño máximo nominal del polvo de vidrio es de 1.18 mm (N°16) y el % que pasa por la malla N°200 es del 14.794%, indicando así, que no se necesita del ensayo de granulometría por sedimentación, según lo indica la tabla del ensayo por granulometría (ver anexo A.2).

### **3.8 Fabricación de ladrillos con adición de vidrio**

Los ladrillos fueron fabricados en la empresa “Ladrillos y tejas Sorama Auccaylle Sociedad Anónima Cerrada – LATESA SAC” ubicado en San Jerónimo – Cusco.

Los ladrillos a elaborar fueron los King Kong 18 huecos de medidas 24 x 12 x 9 cm. Para esto, se tuvo que llevar el polvo de vidrio desde la ciudad de Juliaca hasta la planta de fabricación de LATESA.

Para lograr el producto final del ladrillo cocido de arcilla, se tuvo que pasar por el siguiente proceso:

- Extracción de la materia prima
- Dosificación de la mezcla
- Tolva dosificadora - alimentadora
- Desintegrador
- Laminadora
- Extrusora (bomba de vacíos)
- Cortadora automática
- Secado
- Cocción
- Empaquetado

Para la producción de los ladrillos se extrajo las arcillas y la arena de las canteras, después se llevó a la fábrica para su dosificación y su humectación. En este paso, la dosificación fue manual con pala y se respetó la dosificación patrón (relación 1-1-1); la humectación primaria de la masa para ladrillos se hizo en el área de macerado.

Después de humectar la masa de arcilla, esta es colocada en una tolva alimentadora con la ayuda de una mini cargadora mecánica para que pueda mezclarse mejor la materia prima, después pasa por una faja transportadora y es llevado a un desintegrador para romper los terrones que vienen de las canteras, en seguida pasa por una faja transportadora a la laminadora para romper triturar más las partículas grandes, a continuación pasa por otra faja transportadora y es llevado a la maquina extrusora para dale la forma requerida, en este caso ladrillos King Kong 18 huecos. Esta máquina tiene una bomba de vacíos para quitarle todos los espacios de aire que se han podido adicionar en el proceso.



Figura 16. Bloque de ladrillos saliendo de la maquina extrusora  
Fuente: propia

Posteriormente pasa por la maquina cortadora y con la ayuda de peones estos ladrillos son llevados a la plataforma donde son secados al aire libre por 10 días.



Figura 17. Rumado de ladrillos para su secado.  
Fuente: propia



Figura 18. Muestra seca de cada diseño de mezcla  
Fuente: Propia



Figura 19. Ladrillo crudo extruido ya seco  
Fuente: Propia



Figura 20. Ladrillos entrando al horno de quemado.  
Fuente: Propia

A continuación, es llevado al horno de cocción donde estuvo por 7 días. Finalmente fue apilado y embalado para su transporte hacia la ciudad de Juliaca.



Figura 21. Embalado de unidades de ladrillos  
Fuente: propia

Para la elaboración de ladrillos con adición de vidrio en porcentajes diferentes, este se agregó directo a la faja transportadora que lleva a la maquina laminadora, por tando se llegan a fabricar 8 unidades de ladrillos.



Figura 22. Vidrio triturado  
Fuente: propia



Figura 23. Distribución del polvo de vidrio en la faja transportadora  
Fuente: propia

Se elaboraron más ladrillos de los necesarios porque durante el proceso de fabricación hay ejemplares que se pierden, deforman, etc. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de vidrio total que se necesitó por dosificación.

Tabla 11  
*Cálculo de la cantidad de polvo de vidrio por dosificación*

	<b>Cantidad de ladrillos</b>	<b>Peso de vidrio por unidad (kg)</b>	<b>Peso de vidrio por tanda (kg)</b>	<b>Peso total de vidrio (kg)</b>
Diseño 0%	75	0.000	0.000	0.000
Diseño 15%	75	0.443	3.544	33.225
Diseño 20%	75	0.590	4.720	44.250
Diseño 30 %	75	0.885	7.080	66.375
<b>TOTAL</b>				<b>143.850</b>

Fuente: Propia

### 3.9 Ensayos clasificatorios y no clasificatorios

Una vez obtenido los ladrillos con las dosificaciones requeridas, se procede hacer los ensayos para evaluar su comportamiento físico y mecánico. Los ensayos que se realizaron fueron los siguientes:

- Variación dimensional
- Alabeo
- Absorción
- Absorción máxima
- Densidad
- Porcentaje de vacíos
- Succión
- Eflorescencia
- Resistencia a compresión
- Compresión diagonal en muretes
- Conductividad térmica.

### **3.9.1 Ensayos clasificatorios a la unidad de albañilería**

Estos ensayos son los que limitarán el uso de la unidad de albañilería en la aplicación de sistemas estructurales.

#### **3.9.1.1 Ensayo de variación dimensional**

Este ensayo se hizo conforme a la norma NTP 331.018 “Elemento de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos” donde indica el procedimiento a seguir.

- a. Materiales y equipos:
  - Regla graduada al milímetro.
  - Un vernier
- b. Procedimiento

La norma indica que los especímenes a ensayar serán ladrillos enteros secos, entonces se seleccionaron 10 ladrillos al azar y haciendo el uso de la regla metálica o el vernier (según sea el caso) a medir el largo, ancho y alto del ladrillo,

por cada cara se obtuvieron 3 medidas, en total 24 distancias, 8 distancias por cada dimensión de ladrillo.



Figura 24. Medición de las dimensiones del ladrillo  
Fuente: propia

Seguidamente se calcula la variación dimensional en porcentaje usando la siguiente formula:

$$V = \frac{DE - MP}{DE} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

V : Variación dimensional, en porcentaje

DE : Dimensión especificada, en milímetros

MP : Medida promedio en cada dimensión, en milímetros

### 3.9.1.2 Ensayo de alabeo

Este ensayo mide la concavidad y la convexidad de cada unidad de ladrillo. Al igual que el ensayo de variación dimensional se usan 10 unidades enteras.

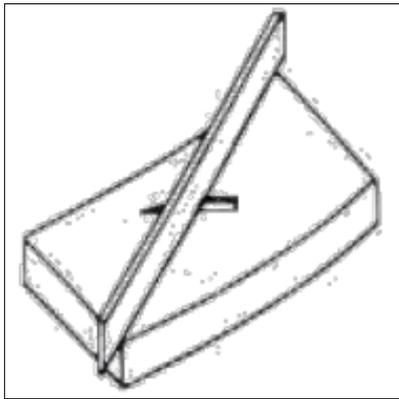


Figura 25. Concavidad en unidades de albañilería  
Fuente: propia

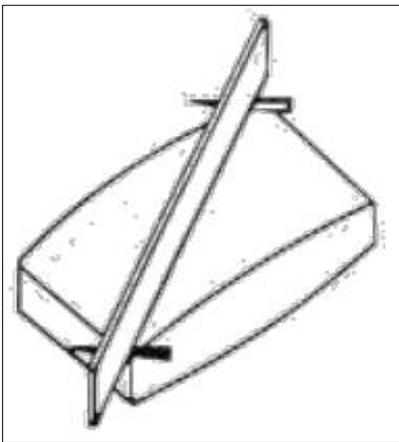


Figura 26. Convexidad en unidades de albañilería  
Fuente: propia

a. Materiales y equipos

- Cuñas de acero graduadas al milímetro.

b. Procedimiento

En este caso se usarán los mismos especímenes de variación dimensional, seguidamente se coloca de manera diagonal el borde recto de la regla en los extremos diagonales del ladrillo en la cara de asentado. Luego con la ayuda de cuñas milimetradas se coloca de manera perpendicular en el centro o bordes (según sea el caso) y se mide la diferencia entre la cara de asentado y la altura de la regla, este procedimiento se efectúa en las dos caras de asiento. Finalmente, el resultado de la convexidad y concavidad se expresa en milímetros.

### 3.9.1.3 Ensayo de resistencia a compresión

Este ensayo es la principal propiedad de la unidad de albañilería ya que de esta dependerá su durabilidad. Se ensayaron 5 unidades de albañilería por diseño de mezcla según la norma NTP 399.613. En este caso también se utilizaron los mismos ejemplares que los ensayos de variación dimensional y alabeo.

#### a. Materiales y equipos

- Máquina automática de compresión
- Badilejo
- Yeso (para el recubrimiento de la muestra)
- Nivel de mano

#### b. Procedimiento

Antes de ensayar los especímenes se colocó un refrentado de yeso de espesor no mayor a los 3 mm sobre las caras de asentado para nivelar el área de contacto del ladrillo con el cabezal de la máquina de compresión y así la distribución de fuerzas a aplicar sea homogénea. Se pesan las muestras y se procede a ensayarlos.



Figura 27. Controlando la nivelación del ladrillo

Fuente: propia



Figura 28. Colocación del espécimen en la máquina de compresión  
Fuente: propia

La resistencia a compresión ( $f_b$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_b = \frac{P}{A} \quad (8)$$

$$f'b = f_b - \sigma \quad (9)$$

Donde:

$f_b$  : Resistencia a compresión de la unidad en kg/cm<sup>2</sup>

$f'b$  : Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería en kg/cm<sup>2</sup>

$P$  : Carga de rotura en kg

$A$  : Área bruta en cm<sup>2</sup>

$\sigma$  : Desviación estándar

La resistencia a compresión del ladrillo se obtendrá restando la desviación estándar del valor promedio por diseño de mezcla.



Figura 29. Espécimen ensayado por la máquina de compresión  
Fuente: propia

### **3.9.2 Ensayos no clasificatorios a la unidad de albañilería**

A diferencia de las pruebas anteriores que determinaban el uso de la unidad en un sistema estructural, estos ensayos no lo determinan, pero son indispensables para definir el correcto procedimiento constructivo de muros de albañilería. Los ensayos no clasificatorios que se realizaron fueron los siguientes:

#### **3.9.2.1 Porcentaje de vacíos**

Para determinar el porcentaje de vacíos se utilizaron 5 unidades de ladrillos, los mismos que se utilizaron para hacer los ensayos de variación dimensional y alabeo. Este ensayo es necesario para poder conocer y clasificar la unidad de albañilería si es hueca o sólida (o maciza).

##### **a. Materiales y equipos**

- Arena con su densidad conocida.
- Embudo

- Balanza con 0.1 kg de precisión

b. Procedimiento

Se pesan las 5 unidades de albañilería en la balanza, luego con la ayuda de un embudo se empieza a llenar los alveolos con la arena (de preferencia arena Ottawa), una vez llenos todos los alveolos se procede a pesar para conocer el peso exacto de la arena en los alveolos.

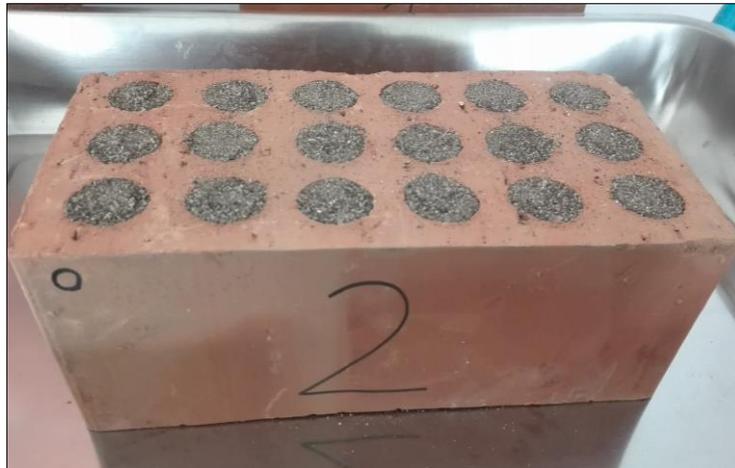


Figura 30. Espécimen ensayado por la máquina de compresión  
Fuente: propia

Una vez conocidos el peso de los alveolos se procede a usar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{V \text{ arena}}{V \text{ total}} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

V arena : Volumen ocupado por la arena en las perforaciones en cm<sup>3</sup>

V total : Volumen total de la unidad sin descontar perforaciones en cm<sup>3</sup>

La norma E 070 recomienda un máximo de 30 % de vacíos en la cara del asentado.

### 3.9.2.2 Ensayo de succión

Para la realización de este ensayo se eligieron 5 unidades de albañilería. Y se tomó de base a la norma NTP 399.613.

a. Materiales y ensayos

- Balanza de 0.5 gr de precisión
- Regla metálica milimetrada.
- Soporte para ladrillos (2)
- Horno
- Cronometro
- Bandeja

b. Procedimientos

Se colocan los especímenes al horno durante 24 horas a una temperatura de 110 °C, luego se espera a que enfríen las unidades y se pesan en la balanza. Seguidamente en la bandeja metálica se colocan los soportes para poner los especímenes, se agrega agua hasta superar por 3 mm el nivel de los soportes. A continuación, se coloca la muestra sobre los especímenes por 1 minuto. Finalmente se saca la muestra, se seca el exceso de agua y se pesa en un lapso no mayor de 1 minuto después de sacado de la bandeja.



Figura 31. Nivelación del espécimen

Fuente: propia



Figura 32. Control del nivel del agua  
Fuente: propia

Los resultados de este ensayo se expresan en  $\text{gr}/(200 \text{ cm}^2\text{-min})$  y la ecuación es la siguiente:

$$s = \frac{200x(Ph - Ps)}{\text{Área neta}} \quad (11)$$

Donde:

S : Succión normalizada en  $\text{gr}/200 \text{ cm}^2\text{-min}$

Ph : Peso del espécimen luego de haberlo sumergido durante un minuto en gr.

Ps : Peso del espécimen después de sacado del horno en gr.

Área neta : Área neta de la cara de asiento en contacto con el agua en  $\text{cm}^2$

La norma E 070 indica los parámetros mínimos y máximos permitidos al momento de asentar los ladrillos que es de 10 a 20  $\text{gr}/200 \text{ cm}^2\text{-min}$ .

### 3.9.2.3 Ensayo de absorción

Tal cual el ensayo de succión, se ensayaron 5 especímenes enteros.

#### a. Materiales y equipos

- Lavador grande
- Balanza de 0.5 gr
- Horno

#### b. Procedimiento

Se colocan los especímenes en el horno durante 24 horas a 110 °C. Después de sacarlos del horno, se espera a que enfríen a temperatura ambiente y se pesa en la balanza, luego se coloca cada uno de los especímenes en un lavador o balde, y se llena el mismo hasta saturar por completo las muestras. Se deja por 24 horas, se sacan las muestras del lavador, con un paño se secan los excesos de agua y se vuelven a pesar.



Figura 33. Control del peso del ladrillo saturado.

Fuente: propia

El contenido de agua que absorbió la muestra se representa en porcentajes, el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{P_{sat} - P_s}{P_s} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

A : Absorción en porcentaje (%)

$P_{sat}$  : Peso del espécimen después de estar sumergido por 24 horas en gr.

$P_s$  : Peso del espécimen después de sacado del horno en gr.



Figura 34. Especímenes sumergidos por 24 horas.  
Fuente: propia

#### 3.9.2.4 Ensayo de absorción máxima

Para este ensayo también se necesitaron 5 muestras enteras y secas en el horno. Este ensayo mide la impermeabilidad de las unidades de albañilería por lo tanto es importante conocer su absorción máxima en casos e use en zonas altamente húmedas y/o en muros cara vista.

##### a. Materiales y equipos

- Cocina
- Horno
- Balanza de 0.5 gr de precisión
- Termómetro

##### b. Procedimiento

Se llevan las muestras al horno por 24 horas a una temperatura constante de 110 °C, pasado el tiempo se sacan las muestras y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego se pesa y se lleva a la cocina dentro de un recipiente lleno de agua, se pone la muestra y se calienta gradualmente hasta alcanzar el punto de ebullición a la hora de haber puesto las muestras. A continuación, se deja hervir

las muestras por 5 horas seguidas y al terminar, se deja enfriando hasta que el recipiente alcance una temperatura de entre 15 a 30 °C.



Figura 35. Ensayo de absorción máxima  
Fuente: propia



Figura 36. Control de temperatura. (entre los 15 y 30 °C)  
Fuente: propia

Finalmente se sacan las muestras del recipiente, con un paño se seca el exceso de agua y se pesan. La absorción máxima se expresa en porcentaje y se calcula de la siguiente manera:

$$Am = \frac{Psat\ ebullición - Ps}{Ps} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

Am : Absorción máxima en porcentaje (%)

Psat : Peso del espécimen saturado luego de haber estado en ebullición por un lapso de 5 horas, en gr.

Ps : Peso del espécimen después de sacado del horno en gr

Para calcular el coeficiente de saturación, se usará la siguiente ecuación:

$$C = \frac{A}{A_m} \quad (14)$$

Donde:

C : Coeficiente de saturación

A : Absorción en porcentaje (%)

A<sub>m</sub> : Absorción máxima en porcentaje (%)

### 3.9.2.5 Ensayo de densidad

Esta propiedad del ladrillo es una de las más importantes en cuanto a los ensayos no clasificatorios ya que a mayor densidad mayor resistencia de la unidad. Para este ensayo también se necesitaron 5 unidades por diseño de mezcla.

#### a. Materiales y equipos

- Cocina a gas
- Horno
- Baldes
- Balanza de 0.5 gr de precisión
- Canasta metálica

#### b. Procedimiento

Primero se colocan las muestras al horno por 24 horas a 110 °C, pasado el tiempo se sacan las muestras, se deja que enfríen y se pesan, seguidamente son llevados al recipiente con agua en ebullición, durante 3 horas. Pasado el tiempo, con la ayuda de la canasta metálica, se pesa el espécimen para obtener el peso sumergido de la muestra y finalmente se saca la muestra del agua, se seca con un paño el exceso de agua y se pesa para poder tener el peso saturado.



Figura 37. Cálculo del peso sumergido de la muestra  
Fuente: propia

### 3.9.2.6 Ensayo de eflorescencia

Este ensayo a diferencia de los demás ensayos no se cuantifica ya que no se puede definir por algún método que represente la eflorescencia en números por que las causas que la originan son varias.

#### a. Materiales y equipos

- Bandeja
- Horno
- Regla metálica

#### b. Procedimiento

Para este ensayo se seleccionaron 6 unidades de ladrillos como indica la norma NTP 399.613. Primero se secaron las muestras en el horno durante 24 horas, de los cuales se ensayarán 3 y se guardaran los otros 3 que se usaran como patrones. La condición de este ensayo es que cada par de ladrillos (uno para ensayar y uno como patrón) tengan una apariencia muy similar posible. Seguidamente se sumergen los tres ladrillos para ensayar en una bandeja una altura de 2.5 cm, con una distancia de 5 cm como mínimo de espaciamiento entre especímenes, después se deja sumergido por 7 días. Terminado los días, se

secan los ladrillos, y junto a sus pares se colocan en el horno durante 24 horas. Finalmente se sacan del horno los 3 pares, seguidamente son examinadas junto a sus pares. Se observan sus caras laterales y superiores, si no se aprecia ningún cambio físico de determina como “no eflorecido”. En caso de que haya alguna diferencia aparente, se compara con su par a una distancia de 3 metros, si no se logra observar diferencia alguna se clasifica como “ligeramente eflorecido”, si se logran observar estas diferencias pues se clasifica como “eflorecido”.



Figura 38. Espécimen sumergido a 25 mm.  
Fuente: propia



Figura 39. Espécimen DM30 con eflorescencia en los bordes.  
Fuente: propia

### 3.9.3 Ensayo a la resistencia característica de la albañilería

El ensayo de resistencia a la unidad de albañilería realizado no es suficiente para poder predecir el comportamiento de estos ante situaciones más reales. Ya que, en esos casos, la unidad de albañilería no trabaja sola, sino que está unida a más similares por el mortero. Y visiblemente su comportamiento será en bloque. Es por eso que se ensayaran pequeñas muestras de albañilería con cargas que representaran esfuerzos a los que son sometidos en la realidad los muros de albañilería.

#### 3.9.3.1 Mortero

El mortero en la albañilería es un elemento muy importante ya que es el adhesivo por excelencia en construcción. Se llama mortero a la mezcla de cemento, agregado y agua (en algunos casos también se le agrega cal).

Esta combinación es importante ya que de este depende una adherencia fuerte y duradera de las unidades de albañilería. La norma E 070, indica la granulometría ideal para el mortero en la elaboración de muros.

Para la elaboración de los muretes a ensayar, se trabajó con una granulometría controlada. A continuación, se muestra la curva granulométrica del mortero que se usó en la elaboración de los muretes.

<b>GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA</b>	
<b>MALLA ASTM</b>	<b>% QUE PASA</b>
N° 4 (4,75 mm)	100
N° 8 (2,36 mm)	95 a 100
N° 16 (1,18 mm)	70 a 100
N° 30 (0,60 mm)	40 a 75
N° 50 (0,30 mm)	10 a 35
N° 100 (0,15 mm)	2 a 15
N° 200 (0,075 mm)	Menos de 2

Figura 40. Límites máximos y mínimos de granulometría para mortero.

Fuente: Norma E 070

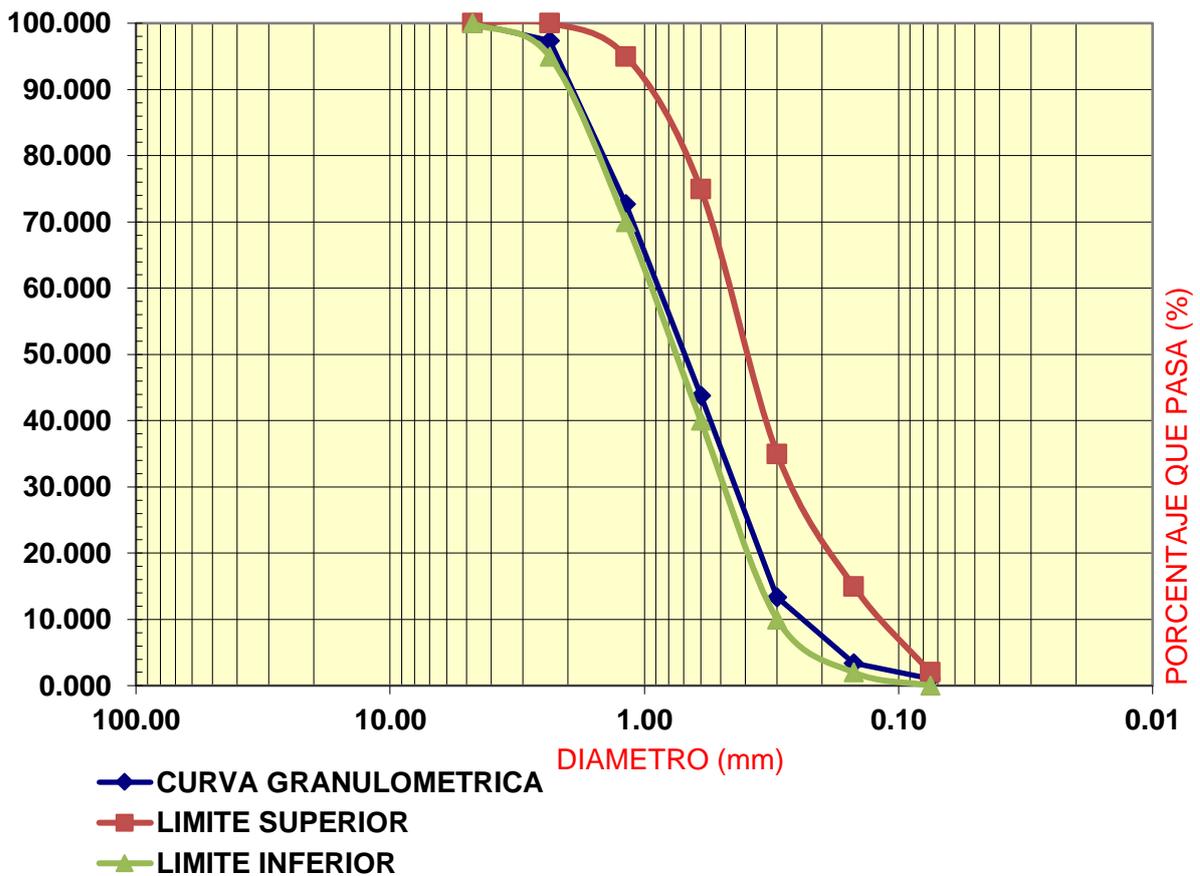


Gráfico 11. Curva de granulometría controlada del mortero.  
Fuente: Propia

Como se observa en el gráfico 11, la arena que se usó para mortero cumple los requisitos mínimos aceptables que la norma indica en la figura 34. Seguidamente se procede a elegir la relación agregado - cemento con la siguiente tabla de proporciones.

TIPOS DE MORTERO				
TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Figura 41. Proporciones para tipos de mortero.  
Fuente: Norma E 070

De acuerdo a la tabla de proporciones, se utilizó la dosificación tipo P2, con una relación de 1 cemento y 4 arena para muros portantes.

### 3.9.3.2 Procedimiento

Este ensayo se realizó en base a la norma técnica peruana NTP 399.621. la maquina utilizada para el desarrollo de este ensayo es el MAGNUS, formado por un marco rígido capaz de soportar la carga aplicada sin sufrir deformaciones. La fuerza máxima aplicada se registró a través de una pantalla que registra la fuerza aplicada y la velocidad de ensayo.

Primero se tuvo que humedecer los ladrillos 15 horas antes del ensayo por media hora, seguidamente, con el mortero ya listo, se procede al asentado de ladrillos. La medida de cada murete fue de 60 cm de largo, 60 cm de alto y 12 cm de espesor. Cada murete constó de 6 hiladas en los que se usaron 15 ladrillos con una altura de junta de 1 cm. Con la ayuda de una plomada y un nivel de mano pudo controlarse la verticalidad del murete. Seguidamente se ensayó cada murete a 14 días calendario.



Figura 42. Murete para ser ensayado.

Fuente: Propia

Finalmente, la resistencia a corte ( $v_m$ ) se calcula de la siguiente manera.

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d} \quad (15)$$

Donde:

$V_m$  : Resistencia característica de la albañilería al corte obtenido de ensayos de muretes a compresión diagonal (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>máx</sub>: Fuerza máxima aplicado al murete (kg)

Ad : Área diagonal del murete /cm<sup>2</sup>)

$$Ad = longitud\ diagonal \times espesor \quad ( 16 )$$

### 3.9.4 Conductividad térmica

Lamentablemente en nuestro país no existe una maquina certificada que pueda determinar la conductividad térmica de algún material ni mucho menos una norma nacional que hable acerca de cómo determinar la conductividad térmica. Es por eso que este ensayo, se tuvo que ejecutar en la Universidad Andina del Cusco, en la máquina de conductividad térmica hecho por tesis de la misma universidad, máquina que se hizo basándose en las indicaciones de la norma **ASTM C177-13 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Place Apparatus,**

#### a. Materiales y equipos

- Equipo eléctrico para medir la conductividad térmica. Este equipo tiene en su interior tecnonpor, material para aislar totalmente del medio ambiente los especímenes a ensayar, el cual también contiene la placa de aluminio caliente y la placa de aluminio frio. Este módulo de diseño de acuerdo a la norma ASTM C177-13

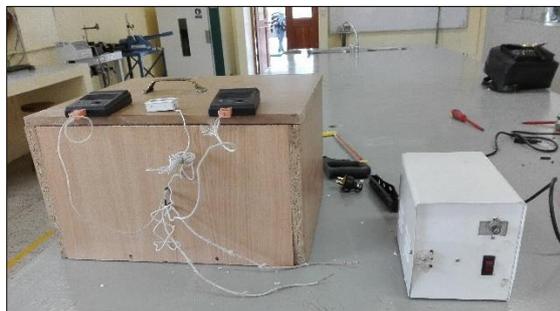


Figura 43. Equipo eléctrico para medir la conductividad térmica  
Fuente: Propia

- Fuente de voltaje regulable para suministrar energía eléctrica a la placa caliente. Su rango varía desde los 0 voltios hasta los 220 voltios de voltaje alterno.
- Multímetro para determinar el voltaje que se suministra de la fuente de voltaje hacia la placa caliente.



Figura 44. Multímetro midiendo la resistencia de la placa caliente  
Fuente: Propia

- Termopares digitales para medir la temperatura, con un rango de medición de -50 °C hasta +1300 °C.
- Regla metálica milimetrada

b. Procedimiento

Primero con la regla metálica se toman las medidas de los ejemplares a ensayar (largo ancho y alto) seguidamente se colocan los ladrillos en equipo de medición de conductividad térmica, luego se colocan los sensores de temperatura, un sensor va conectado a la placa caliente (placa central) y los otros dos van conectados a las placas frías (placa superior e inferior).

La placa caliente se conecta a la fuente de voltaje regulable a 56.07 voltios para una potencia de 30 watts puesto que la resistencia de la placa caliente es de 104.8 ohmios.

Después de calibrar los equipos con el multímetro a los valores calculados, se tapa el equipo eléctrico para aislarlo del medio ambiente y se procede con el ensayo.



Figura 45. Multímetro midiendo el voltaje a suministrar del regulador a la placa caliente

Fuente: Propia

Cuando el termopar de la placa fría empieza a marcar, eso indica que el calor traspasa los 12 cm de espesor de la muestra. Se da lectura a los termopares, una vez que ellos hayan alcanzado la estabilidad térmica. En este caso, el ensayo duro 4 horas y se verifico por media hora que las temperaturas de los termopares no varíen.



Figura 46. Multímetro midiendo la resistencia de la placa caliente  
Fuente: Propia

Finalmente se calcula la conductividad térmica en  $w/m.^{\circ}K$  con la siguiente fórmula.

$$\lambda = \frac{Pot * L}{\Delta T * A} \quad (17)$$

Donde:

$\lambda$  : Coeficiente de conductividad térmica ( $w/m.^{\circ}K$ )

Pot : Potencia o flujo de calor total a través del espécimen (Watts)

L : Espesor por donde atraviesa el calor (m)

$\Delta T$  : Gradiente de temperatura. Es la temperatura de la placa caliente menos la temperatura de la placa fría ( $^{\circ}K$ )

A : Área por donde se suministra la placa caliente ( $m^2$ )

### 3.10 Resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a cada uno de las unidades de albañilería elaborado con diferentes porcentajes de polvo de vidrio.

#### 3.10.1 Ensayos clasificatorios

Se analizarán los resultados obtenidos de los ensayos de: variación dimensional, alabeo y resistencia a compresión de la unidad de albañilería ( $f^{\prime}b$ ).

### 3.10.1.1 Variación dimensional

El tamaño nominal del ladrillo King Kong 8 huecos es: 24 x 12 x 9 cm. En las siguientes tablas se mostrarán los valores promedios del largo, ancho, alto de cada unidad de albañilería y seguidamente su variación porcentual.

- Unidad de ladrillo patrón

Tabla 12  
*Resultados de la variación dimensional del DM0*

ESPECIMEN	LARGO prom (mm)	V.D. %	ANCHO prom (mm)	V.D. %	ALTO prom (mm)	V.D. %
DM0-1	23.675	1.354%	11.933	0.563%	8.905	1.056%
DM0-2	23.518	2.010%	11.936	0.531%	8.809	2.125%
DM0-3	23.630	1.542%	11.921	0.656%	8.886	1.264%
DM0-4	23.513	2.031%	11.910	0.750%	8.818	2.028%
DM0-5	23.650	1.458%	11.875	1.042%	8.975	0.278%
DM0-6	23.504	2.068%	11.831	1.406%	8.784	2.403%
DM0-7	23.506	2.057%	11.825	1.458%	8.819	2.014%
DM0-8	23.416	2.432%	11.766	1.948%	8.850	1.667%
DM0-9	23.284	2.984%	11.770	1.917%	8.743	2.861%
DM0-10	23.583	1.740%	11.798	1.688%	8.788	2.361%
promedio		1.97%		1.20%		1.81%

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15 % de vidrio

Tabla 13  
*Resultados de la variación dimensional del DM15*

ESPECIMEN	LARGO (mm)	V.D. %	ANCHO (mm)	V.D. %	ALTO (mm)	V.D. %
DM15-1	23.756	1.016%	12.063	-0.521%	8.938	0.694%
DM15-2	23.789	0.880%	11.999	0.010%	8.919	0.903%
DM15-3	23.709	1.214%	12.013	-0.104%	8.918	0.917%
DM15-4	23.721	1.161%	11.971	0.240%	8.926	0.819%
DM15-5	23.619	1.589%	11.963	0.312%	8.935	0.722%
DM15-6	23.575	1.771%	11.940	0.504%	9.022	-0.240%
DM15-7	23.725	1.146%	12.014	-0.119%	8.934	0.732%
DM15-8	23.769	0.964%	12.000	0.000%	9.003	-0.028%
DM15-9	23.785	0.896%	11.944	0.467%	8.900	1.111%
DM15-10	23.598	1.677%	11.939	0.510%	8.923	0.861%
promedio		1.23%		0.13%		0.65%

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20 % de vidrio

Tabla 14  
*Resultados de la variación dimensional del DM20*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ALTO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>
DM20-1	23.671	1.370%	12.001	-0.010%	8.926	0.819%
DM20-2	23.809	0.797%	12.005	-0.042%	8.999	0.014%
DM20-3	23.806	0.807%	12.006	-0.052%	8.869	1.458%
DM20-4	23.565	1.812%	12.011	-0.094%	8.836	1.819%
DM20-5	23.869	0.547%	12.005	-0.042%	8.888	1.250%
DM20-6	23.704	1.234%	12.010	-0.083%	8.949	0.569%
DM20-7	23.734	1.109%	11.994	0.052%	9.005	-0.056%
DM20-8	23.554	1.859%	11.870	1.083%	8.875	1.389%
DM20-9	23.613	1.615%	11.930	0.583%	8.850	1.667%
DM20-10	23.846	0.641%	12.023	-0.188%	8.996	0.042%
promedio		1.18%		0.12%		0.90%

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30 % de vidrio

Tabla 15  
*Resultados de la variación dimensional del DM30*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ALTO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>
DM30-1	23.725	1.146%	11.981	0.156%	8.878	1.361%
DM30-2	23.934	0.276%	12.083	-0.687%	8.993	0.083%
DM30-3	23.690	1.292%	11.993	0.063%	9.044	-0.486%
DM30-4	23.870	0.542%	12.028	-0.229%	8.889	1.236%
DM30-5	23.850	0.625%	12.043	-0.354%	9.010	-0.111%
DM30-6	23.566	1.807%	11.878	1.021%	8.875	1.389%
DM30-7	23.734	1.109%	11.956	0.365%	8.973	0.306%
DM30-8	23.963	0.156%	12.071	-0.594%	8.990	0.111%
DM30-9	23.664	1.401%	12.013	-0.104%	9.075	-0.833%
DM30-10	23.800	0.833%	12.020	-0.167%	8.938	0.694%
promedio		0.92%		-0.05%		0.38%

Fuente: Propia

En la tabla 1, se especifica los porcentajes máximos y mínimos para la clasificación de la unidad de albañilería. En la siguiente tabla se mostrará el resumen de la variación dimensional de cada diseño de mezcla.

Tabla 16

*Resumen de variación dimensional de los diferentes diseños de mezcla*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>	<b>ALTO (mm)</b>	<b>V.D. %</b>
DM0	23.528	1.97%	11.857	1.20%	8.838	1.81%
DM15	23.705	1.23%	11.984	0.13%	8.942	0.65%
DM20	23.717	1.18%	11.986	0.12%	8.919	0.90%
DM30	23.780	0.92%	12.006	-0.05%	8.966	0.38%

Fuente: Propia

Según la norma E.070, los diferentes diseños de mezcla se clasificarán de la siguiente manera.

Tabla 17

*Clasificación de las unidades de albañilería por su variación dimensional*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA</b>
DM0	Ladrillo IV
DM15	Ladrillo V
DM20	Ladrillo V
DM30	Ladrillo V

Fuente: Propia

### 3.10.1.2 Alabeo

El resultado del alabeo de los diferentes diseños de mezcla son los siguientes:

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 18

*Resultado del alabeo del DM0*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>CONCAVIDAD (mm)</b>	<b>CONVEXIDAD (mm)</b>
DM0-1	0.88	0.13
DM0-2	0.88	0.10
DM0-3	0.88	0.13
DM0-4	1.43	1.53
DM0-5	0.90	0.26
DM0-6	1.03	0.38
DM0-7	1.28	0.50

DM0-8	1.08	0.45	
DM0-9	0.75	0.00	
DM0-10	1.36	0.60	
PROMEDIO	Cóncavo	1.044	mm
	Convexo	0.406	mm

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con 15 % de vidrio

Tabla 19

*Resultado del alabeo del DM15*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>CONCAVIDAD (mm)</b>	<b>CONVEXIDAD (mm)</b>	
DM15-1	0.75	0.38	
DM15-2	1.13	0.45	
DM15-3	0.61	0.35	
DM15-4	1.23	0.45	
DM15-5	0.93	0.43	
DM15-6	1.30	0.45	
DM15-7	0.76	0.38	
DM15-8	0.58	0.30	
DM15-9	0.24	0.23	
DM15-10	1.43	0.48	
PROMEDIO	Cóncavo	0.894	mm
	Convexo	0.388	mm

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con 20 % de vidrio

Tabla 20

*Resultado del alabeo del DM20*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>CONCAVIDAD (mm)</b>	<b>CONVEXIDAD (mm)</b>	
DM20-1	0.38	0.13	
DM20-2	1.13	0.63	
DM20-3	0.65	0.40	
DM20-4	0.50	0.13	
DM20-5	0.78	0.45	
DM20-6	0.95	0.53	
DM20-7	1.25	0.63	
DM20-8	0.44	0.13	
DM20-9	1.33	0.78	
DM20-10	0.60	0.20	

PROMEDIO	Cóncavo	0.799	mm
	Convexo	0.398	mm

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con 30 % de vidrio

Tabla 21  
*Resultado del alabeo del DM30*

ESPECIMEN	CONCAVIDAD (mm)	CONVEXIDAD (mm)	
DM30-1	0.88	0.50	
DM30-2	0.80	0.48	
DM30-3	0.88	0.58	
DM30-4	0.95	0.63	
DM30-5	0.85	0.28	
DM30-6	0.48	0.00	
DM30-7	0.85	0.38	
DM30-8	0.73	0.00	
DM30-9	0.88	0.13	
DM30-10	0.59	0.25	
PROMEDIO	Cóncavo	0.786	mm
	Convexo	0.320	mm

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se mostrará el resumen de los resultados del alabeo de los diseños de mezcla:

Tabla 22  
*Resumen del alabeo de los diferentes diseños de mezcla*

DISEÑO DE MEZCLA	CONCAVIDAD (mm)	CONVEXIDAD (mm)
DM0	1.044	0.406
DM15	0.894	0.388
DM20	0.799	0.398
DM30	0.786	0.320

Fuente: Propia

La norma E.070 establece que el alabeo máximo para ser clasificado como ladrillo V es 2.

Tabla 23  
*Clasificación de la unidad de albañilería por su alabeo*

DISEÑO DE MEZCLA	CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA
DM0	Ladrillo V
DM15	Ladrillo V
DM20	Ladrillo V
DM30	Ladrillo V

Fuente: Propia

Como se puede observar, ningún diseño de mezcla tiene alabeo superior a los 2 mm, es por eso que todos son clasificados como tipo V.

### 3.10.1.3 Resistencia a compresión

Los resultados del ensayo de resistencia a compresión ( $f'b$ ) se muestran en las siguientes tablas.

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 24  
*Resultado de la resistencia a compresión del DM0*

ESPECIMEN	DIMENSION PROMEDIO (cm)			AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	$f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	LARGO	ANCHO	ALTO			
DM0-1	23.675	11.933	8.905	282.501938	48193.8	170.60
DM0-2	23.518	11.936	8.809	280.710759	49606.3	176.72
DM0-3	23.630	11.921	8.886	281.699138	51604.3	183.19
DM0-4	23.513	11.910	8.818	280.033875	54577.8	194.90
DM0-5	23.650	11.875	8.975	280.84375	50595.8	180.16
				PROMEDIO	$f'b$ (prom)	181.35
				DESV. ESTANDAR	$\sigma$	10.39
				RESISTENCIA	$f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	170.96

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio.

Tabla 25  
*Resultado de la resistencia a compresión del DM15*

ESPECIMEN	DIMENSION PROMEDIO (cm)			AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	$f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	LARGO	ANCHO	ALTO			
DM15-1	23.756	12.063	8.938	286.559766	61034.8	212.99
DM15-2	23.789	11.999	8.919	285.435264	54765.6	191.87

DM15-3	23.709	12.013	8.918	284.801359	51359.5	180.33
DM15-4	23.721	11.971	8.926	283.973014	51374.1	180.91
DM15-5	23.619	11.963	8.935	282.539297	53670.3	189.96
				PROMEDIO	f'b (prom)	191.21
				DESV. ESTANDAR	$\sigma$	13.24
				RESISTENCIA	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )	177.98

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio.

Tabla 26

Resultado de la resistencia a compresión del DM20

ESPECIMEN	DIMENSION PROMEDIO (cm)			AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
	LARGO	ANCHO	ALTO			
DM20-1	23.671	12.001	8.926	284.084589	65449.2	230.39
DM20-2	23.809	12.005	8.999	285.824044	62913.6	220.11
DM20-3	23.806	12.006	8.869	285.823789	58932.4	206.18
DM20-4	23.565	12.011	8.836	283.045106	61198.6	216.22
DM20-5	23.869	12.005	8.888	286.544344	66094.6	230.66
				PROMEDIO	f'b (prom)	220.71
				DESV. ESTANDAR	$\Sigma$	10.30
				RESISTENCIA	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )	210.41

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio.

Tabla 27

Resultado de la resistencia a compresión del DM30

ESPECIMEN	DIMENSION PROMEDIO (cm)			AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
	LARGO	ANCHO	ALTO			
DM30-1	23.725	11.981	8.878	284.255156	68291	240.25
DM30-2	23.934	12.083	8.993	289.179534	75818.3	262.18
DM30-3	23.690	11.993	9.044	284.102325	68798.3	242.16
DM30-4	23.870	12.028	8.889	287.096425	75347.7	262.45
DM30-5	23.850	12.043	9.010	287.213625	75697.3	263.56
				PROMEDIO	f'b (prom)	254.12
				DESV. ESTANDAR	$\sigma$	11.82
				RESISTENCIA	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )	242.30

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se mostrará el resumen de los resultados obtenidos por cada diseño de mezcla.

Tabla 28  
*Resumen de la resistencia a compresión de los diseños de mezcla*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA</b>
DM0	170.96	Ladrillo IV
DM15	177.98	Ladrillo IV
DM20	210.41	Ladrillo V
DM30	242.30	Ladrillo V

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se muestra la clasificación final de los diseños de mezcla.

Tabla 29  
*Resultado final para cada diseño de mezcla*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>VARIACION DIMENSIONAL</b>	<b>ALABEO</b>	<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN</b>	<b>CLASIFICACION FINAL</b>
DM0	Ladrillo IV	Ladrillo V	Ladrillo IV	Ladrillo IV
DM15	Ladrillo V	Ladrillo V	Ladrillo IV	Ladrillo IV
DM20	Ladrillo V	Ladrillo V	Ladrillo V	Ladrillo V
DM30	Ladrillo V	Ladrillo V	Ladrillo V	Ladrillo V

Fuente: Propia

### **3.10.2 Ensayos no clasificatorios**

En este ítem se analizarán los resultados obtenidos de los siguientes ensayos: porcentaje de vacíos, succión, absorción, absorción máxima, densidad y eflorescencia.

#### **3.10.2.1 Porcentaje de vacíos**

En las siguientes tablas se mostrará los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos de los diferentes diseños de mezcla.

- Unidad de albañilería sin adición de vidrio

Tabla 30  
*Resultado del porcentaje de vacíos del DM0*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>% DE VACIOS</b>

DM0-1	37.10
DM0-2	37.08
DM0-3	36.92
DM0-4	37.07
DM0-5	37.00
DM0-6	37.03
DM0-7	37.10
DM0-8	36.93
DM0-9	36.92
DM0-10	37.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>37.02</b>

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 31  
*Resultado del porcentaje de vacíos del DM15*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>% DE VACIOS</b>
DM15-1	36.96
DM15-2	37.06
DM15-3	36.97
DM15-4	37.00
DM15-5	37.09
DM15-6	36.98
DM15-7	36.72
DM15-8	36.93
DM15-9	37.01
DM15-10	37.11
<b>PROMEDIO</b>	<b>36.98</b>

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 32  
*Resultado del porcentaje de vacíos del DM20*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>% DE VACIOS</b>
DM20-1	37.04
DM20-2	37.12
DM20-3	37.09
DM20-4	36.95

DM20-5	37.03
DM20-6	36.97
DM20-7	36.91
DM20-8	37.01
DM20-9	36.94
DM20-10	37.05
<b>PROMEDIO</b>	<b>37.01</b>

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 33  
*Resultado del porcentaje de vacíos del DM30*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>% DE VACIOS</b>
DM30-1	36.92
DM30-2	36.85
DM30-3	36.90
DM30-4	36.82
DM30-5	36.77
DM30-6	37.82
DM30-7	36.93
DM30-8	36.92
DM30-9	36.92
DM30-10	36.72
<b>PROMEDIO</b>	<b>36.96</b>

Fuente: Propia

### 3.10.2.2 Succión

Los resultados de este ensayo son los siguientes:

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 34  
*Resultado de succión del DM0*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>SUCCION (g/200 cm<sup>2</sup>-mi)</b>
DM0-1	40.06
DM0-2	39.03
DM0-3	39.54
DM0-4	39.85
DM0-5	41.08

PROMEDIO	39.91
----------	-------

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 35  
*Resultado de succión del DM15*

ESPECIMEN	SUCCION (g/200 cm <sup>2</sup> -min)
DM15-1	36.25
DM15-2	39.66
DM15-3	35.56
DM15-4	35.76
DM15-5	36.20
PROMEDIO	36.68

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 36  
*Resultado de succión del DM20*

ESPECIMEN	SUCCION (g/200 cm <sup>2</sup> -min)
DM20-1	36.67
DM20-2	36.68
DM20-3	36.61
DM20-4	35.17
DM20-5	35.29
PROMEDIO	36.08

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 37  
*Resultado de succión del DM30*

ESPECIMEN	SUCCION (g/200 cm <sup>2</sup> -min)
DM30-1	30.28
DM30-2	31.73
DM30-3	34.84
DM30-4	31.65
DM30-5	30.35
PROMEDIO	31.77

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se muestra los valores de succión de los diferentes diseños de mezcla promedio.

Tabla 38

*Resumen del valor de succión de los diferentes diseños de mezcla*

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>SUCCION (g/200 cm<sup>2</sup>-min)</b>
DM0	39.91
DM15	36.68
DM20	36.08
DM30	31.77

Fuente: Propia

### 3.10.2.3 Absorción

Los resultados obtenidos por el ensayo de absorción son los siguientes:

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 39

*Resultado de absorción del DM0*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION %</b>
DM0-1	12.88
DM0-2	13.01
DM0-3	12.72
DM0-4	12.99
DM0-5	13.03
PROMEDIO	12.93

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 40

*Resultado de absorción del DM15*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION %</b>
DM15-1	12.77
DM15-2	12.62
DM15-3	12.98

DM15-4	12.75
DM15-5	12.67
PROMEDIO	12.76

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 41  
*Resultado de absorción del DM20*

ESPECIMEN	ABSORCION %
DM20-1	12.09
DM20-2	12.12
DM20-3	12.16
DM20-4	12.19
DM20-5	12.04
PROMEDIO	12.12

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 42  
*Resultado de absorción del DM30*

ESPECIMEN	ABSORCION %
DM30-1	11.16
DM30-2	11.93
DM30-3	11.94
DM30-4	11.71
DM30-5	11.99
PROMEDIO	11.75

Fuente: Propia

#### 3.10.2.4 Absorción máxima

Con los resultados del ensayo de absorción y absorción máxima se obtendrá el coeficiente de saturación. En las siguientes tablas se muestran los resultados del ensayo de absorción máxima.

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 43  
Resultado de absorción máxima del DM0

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION MAXIMA %</b>
DM0-1	15.20
DM0-2	15.20
DM0-3	15.21
DM0-4	15.22
DM0-5	15.21
PROMEDIO	15.21

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 44  
Resultado de absorción máxima del DM15

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION MAXIMA %</b>
DM15-1	15.26
DM15-2	15.27
DM15-3	15.26
DM15-4	15.27
DM15-5	15.26
PROMEDIO	15.26

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 45  
Resultado de absorción máxima del DM20

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION MAXIMA %</b>
DM20-1	15.32
DM20-2	15.32
DM20-3	15.31
DM20-4	15.30
DM20-5	15.32
PROMEDIO	15.31

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 46  
*Resultado de absorción máxima del DM30*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>ABSORCION MAXIMA %</b>
DM30-1	15.39
DM30-2	15.39
DM30-3	15.38
DM30-4	15.37
DM30-5	15.38
PROMEDIO	15.38

Fuente: Propia

Con los resultados obtenidos, en la siguiente tabla se muestra el coeficiente de saturación de cada diseño de mezcla.

Tabla 47  
*Coeficiente de saturación de los diseños de mezcla*

<b>ESPECIMENES</b>	<b>COEFICIENTE DE SATURACION</b>
DM0	0.85
DM15	0.83
DM20	0.79
DM30	0.76

Fuente: Propia

### 3.10.2.5 Densidad

Los resultados del ensayo de densidad en las unidades de albañilería son los siguientes:

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 48  
*Resultado de la densidad del DM0*

<b>ESPECIMEN</b>	<b>DENSIDAD (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
DM0-1	1.956
DM0-2	1.953
DM0-3	1.958
DM0-4	1.946

DM0-5	1.951
PROMEDIO	1.953

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 49  
*Resultado de la densidad del DM15*

ESPECIMEN	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
DM15-1	1.963
DM15-2	1.964
DM15-3	1.960
DM15-4	1.947
DM15-5	1.956
PROMEDIO	1.958

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 50  
*Resultado de la densidad del DM20*

ESPECIMEN	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
DM20-1	1.979
DM20-2	1.983
DM20-3	1.977
DM20-4	1.978
DM20-5	1.980
PROMEDIO	1.979

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 51  
*Resultado de la densidad del DM30*

ESPECIMEN	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
DM30-1	1.985
DM30-2	1.982
DM30-3	1.987
DM30-4	1.990

DM30-5	1.979
PROMEDIO	1.985

Fuente: Propia

### 3.10.2.6 Eflorescencia

En las siguientes tablas se mostrará de manera cualitativa los resultados del ensayo de eflorescencia.

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 52  
*Resultado de la eflorescencia del DM0*

ESPECIMEN	NO EFLORESCIDO	LIGERAMENTE EFLORESCIDO	EFLORESCIDO
DM0-1		X	
DM0-2		X	
DM0-3		X	
DM0-4		X	
DM0-5		X	

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 53  
*Resultado de la eflorescencia del DM15*

ESPECIMEN	NO EFLORESCIDO	LIGERAMENTE EFLORESCIDO	EFLORESCIDO
DM15-1		X	
DM15-2	X		
DM15-3		X	
DM15-4		X	
DM15-5		X	

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 54  
*Resultado de la eflorescencia del DM20*

ESPECIMEN	NO EFLORESCIDO	LIGERAMENTE EFLORESCIDO	EFLORESCIDO
DM20-1	X		

DM20-2	X	
DM20-3		X
DM20-4		X
DM20-5		X

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 55  
*Resultado de la eflorescencia del DM30*

ESPECIMEN	NO EFLORESCIDO	LIGERAMENTE EFLORESCIDO	EFLORESCIDO
DM30-1		X	
DM30-2	X		
DM30-3		X	
DM30-4	X		
DM30-5	X		

Fuente: Propia

### 3.10.3 Ensayo a la resistencia característica de la albañilería

Los resultados del ensayo de muretes ensayados a los 14 días para cada diseño de mezcla fueron los siguientes:

Tabla 56  
*Resultado de la resistencia de la albañilería a compresión axial*

ESPECIMEN	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
DM0	8.612
DM15	8.963
DM20	10.293
DM30	10.375

Fuente: Propia

### 3.10.4 Ensayo de conductividad térmica

Los resultados de los ensayos realizados son los siguientes:

- Unidad de albañilería patrón

Tabla 57  
*Resultado de la conductividad térmica del DM0*

ESPECIMEN	CONDUCTIVIDAD TERMICA
-----------	-----------------------

	(W/m.°K)
DM0-1	0.519
DM0-2	0.528
DM0-3	0.527
DM0-4	0.525
PROMEDIO	0.525

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 15% de vidrio

Tabla 58

*Resultado de la conductividad térmica del DM15*

ESPECIMEN	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m.°K)
DM15-1	0.537
DM15-2	0.527
DM15-3	0.532
DM15-4	0.533
PROMEDIO	0.532

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 20% de vidrio

Tabla 59

*Resultado de la conductividad térmica del DM20*

ESPECIMEN	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m.°K)
DM20-1	0.528
DM20-2	0.557
DM20-3	0.520
DM20-4	0.534
PROMEDIO	0.535

Fuente: Propia

- Unidad de albañilería con adición de 30% de vidrio

Tabla 60

*Resultado de la conductividad térmica del DM30*

ESPECIMEN	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m.°K)
DM30-1	0.559
DM30-2	0.567

DM30-3	0.560
DM30-4	0.567
PROMEDIO	0.564

Fuente: Propia

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la conductividad térmica de los diseños de mezcla.

Tabla 61

*Resumen de la conductividad térmica de los diseños de mezcla*

ESPECIMEN	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m.°K)
DM0	0.525
DM15	0.532
DM20	0.535
DM30	0.564

Fuente: Propia

### 3.11 Análisis final de la unidad de los diferentes diseños de mezcla

Según los resultados obtenidos por los ensayos realizados para los tres diferentes diseños de mezcla y la mezcla patrón se puede mostrar en la siguiente tabla el resumen final de cada uno de ellos.

Tabla 62

*Resumen final de los resultados obtenidos*

CARACTERISTICAS		DM0	DM15	DM20	DM30
		%	%	%	%
PESO	Kg	2.969	3.004	3.023	3.043
VARIACION	Largo (mm)	23.52	23.705	23.717	23.780
DIMENSIONAL		8			
	Largo (%)	1.97	1.230	1.180	0.920
	Ancho (mm)	11.85	11.984	11.986	12.006
		7			
	Ancho (%)	1.200	0.130	0.120	-0.050
	Alto (mm)	8.838	8.942	8.919	8.966

	Alto (%)	1.810	0.650	0.900	0.380
ALABEO	Concavidad (mm)	1.044	0.894	0.799	0.786
	Convexidad (mm)	0.406	0.388	0.398	0.320
RESISTENCIA A	kg/cm <sup>2</sup>	170.9	177.98	210.41	242.30
COMPRESION		6	0	0	0
(f'b)					
RESISTENCIA AL	kg/cm <sup>2</sup>	8.626	8.956	10.286	10.368
CORTE (Vm)					
PORCENTAJE DE	%	37.02	36.980	37.010	36.960
VACIOS		0			
DENSIDAD	gr/cm <sup>3</sup>	1.953	1.958	1.979	1.985
SUCCION	gr/(200 cm <sup>2</sup> -min)	39.91	36.680	36.080	31.770
		0			
ABSORCION	%	12.93	12.760	12.120	11.75
		0			
ABSORCION	%	15.21	15.260	15.310	15.380
MAXIMA		0			
COEF. DE		0.850	0.830	0.790	0.760
SATURACION					
COEFICIENTE DE	W/m.°K	0.525	0.532	0.535	0.564
CONDUCTIVIDAD					
TERMICA					
EFLORESCENCI		Ligero	Ligero	Ligero	Ligero
A					
CLASIFICACION DEL LADRILLO KK 18		TIPO	TIPO	TIPO V	TIPO V
HUECOS		IV	IV		

Fuente: Propia

Finalmente se puede concluir que el diseño de mezcla que mejores características físicas y mecánicas tiene es el diseño de mezcla con 30% de vidrio incorporado, sin embargo, la conductividad térmica de este es mayor que sus pares. Es decir, este diseño de mezcla es menos aislante térmico que el diseño de mezcla patrón.

### **3.12 Prueba de hipótesis**

Las hipótesis planteadas en esta investigación que deberán ser probadas son las siguientes:

- La adición de vidrio no afectará negativamente en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de arcilla cocida.
- La adición de vidrio originará cambios significativos en su conductividad térmica especificada en el RNE EM 110 Anexo N°03.
- El costo de producción por unidad de las nuevas unidades de arcilla cocida con vidrio no tendrá una variación significativa en comparación al costo de mercado del ladrillo convencional

Para el análisis de Prueba de Hipótesis N°01 y N°02 se utilizó el método de ANOVA con un factor INTERsujetos en base a los resultados obtenidos.

Para el análisis de Prueba de Hipótesis N°03, se elaboró el análisis de costo unitario del ladrillo con adición de vidrio y se hizo la comparación respectiva con el costo del ladrillo convencional por el método de ANOVA para poder saber si existe una diferencia significativa entre ambos.

#### **3.12.1 Prueba de hipótesis N°01**

Para poder hacer la comprobación de esta hipótesis, es necesario conocer si existen diferencias significativas en cada uno de los tratamientos por ensayo, por lo tanto, fue necesario elaborar 10 pruebas estadísticas.

Cada prueba a elaborar fue por cada ensayo realizado y finalmente con los resultados obtenidos se pudo probar la hipótesis específica N°01.

### 3.12.1.1 Prueba de hipótesis de variación dimensional

Esta prueba de hipótesis se realizó por separado para el largo, alto y ancho de los ladrillos con adición de vidrio de 15, 20 y 30% de vidrio como también para el diseño patrón.:

Tabla 63  
*Tabla ANOVA de variación dimensional (largo)*

<b>ANOVA</b>					
Variación Dimensional (largo)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.350	3	.117	9.501	.000
Dentro de grupos	.442	36	.012		
Total	.792	39			

Fuente: SPSS

Tabla 64  
*Tabla ANOVA de variación dimensional (ancho)*

<b>ANOVA</b>					
Variación Dimensional (ancho)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.141	3	.047	15.785	.000
Dentro de grupos	.107	36	.003		
Total	.249	39			

Fuente: SPSS

Tabla 65  
*Tabla ANOVA de variación dimensional (alto)*

<b>ANOVA</b>					
Variación Dimensional (alto)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.094	3	.031	8.185	.000
Dentro de grupos	.137	36	.004		
Total	.231	39			

Fuente: SPSS

Según las tres tablas obtenidas por el SPSS, la significancia es en todos los casos menor a 0.05, indicando que si hay diferencias significativas en por lo menos uno de los tratamientos en el largo, ancho y alto de los ladrillos.

Para poder determinar específicamente donde existen diferencias significativas, se realizó la prueba de TUKEY.

Tabla 66  
*Tabla TUKEY de variación dimensional (largo)*

<b>Variación Dimensional (largo)</b>			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa =	
		0.05	
		1	2
DM0%	10	23.52790	
DM15%	10		23.70460
DM20%	10		23.71710
DM30%	10		23.77960
Sig.		1.000	.440

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

Tabla 67  
*Tabla TUKEY de variación dimensional (ancho)*

<b>Variación Dimensional (ancho)</b>			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa =	
		0.05	
		1	2
DM0%	10	11.85650	
DM15%	10		11.98460
DM20%	10		11.98550
DM30%	10		12.00660
Sig.		1.000	.805

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

Tabla 68  
*Tabla TUKEY de variación dimensional (alto)*

<b>Variación Dimensional (alto)</b>			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa =	
		0.05	
		1	2
DM0%	10	8.83770	
DM20%	10		8.91930
DM15%	10		8.94180
DM30%	10		8.96650
Sig.		1.000	.334

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.2 Prueba de hipótesis de alabeo

Para el ensayo de alabeo, se hicieron dos pruebas estadísticas, una para la concavidad y la otra para la convexidad de la unidad de albañilería. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 69  
*Tabla ANOVA de alabeo (concavidad)*

<b>ANOVA</b>					
Alabeo (concavidad)					
	Suma de	gl	Media	F	Sig.
	cuadrados		cuadrática		
Entre grupos	.424	3	.141	1.682	.188
Dentro de grupos	3.024	36	.084		
Total	3.448	39			

Fuente: SPSS

Tabla 70  
*Tabla ANOVA de alabeo (convexidad)*

<b>ANOVA</b>					
Alabeo (convexidad)					
	Suma de	gl	Media	F	Sig.
	cuadrados		cuadrática		
Entre grupos	.046	3	.015	.199	.896
Dentro de grupos	2.789	36	.077		

grupos		
Total	2.835	39

Fuente: SPSS

Como se pudo observar, la significancia en cuanto a concavidad y convexidad es mayor a 0.05, indicando que no hay diferencias significativas entre tratamientos. Por esa razón, es innecesario analizar los datos por la prueba de TUKEY.

### 3.12.1.3 Prueba de hipótesis de porcentaje de vacíos

Se hizo solo una prueba estadística en este ensayo por tener solo un parámetro a medir. El resultado fue el siguiente:

Tabla 71  
*Tabla ANOVA de porcentaje de vacíos*

ANOVA					
Porcentaje de vacios	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.028	3	.009	.313	.816
Dentro de grupos	1.072	36	.030		
Total	1.100	39			

Fuente: SPSS

De acuerdo a la tabla 73 se pudo conocer que el nivel de significancia para el porcentaje de vacíos es mayor al 0.05, indicando que los tratamientos no tienen diferencia significativa.

### 3.12.1.4 Prueba de hipótesis de absorción

Al igual que la prueba de porcentaje de vacíos solo se hizo una prueba estadística al tener solo un parámetro que probar.

Tabla 72  
*Tabla ANOVA de absorción*

ANOVA					
Absorción	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4.514	3	1.505	37.859	.000
Dentro de	.636	16	.040		

grupos		
Total	5.150	19

Fuente: SPSS

Según la prueba de anova, la significancia obtenida es menor a 0.05, indicando que, si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, por ende, fue necesario realizar la prueba de TUKEY. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 73  
Tabla TUKEY de absorción

Absorción				
HSD Tukey <sup>a</sup>				
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
DM30%	5	11.7496		
		0		
DM20%	5		12.12180	
DM15%	5			12.75600
DM0%	5			12.92560
Sig.		1.000	1.000	.549

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.5 Prueba de hipótesis de absorción máxima

El procedimiento para este ensayo es el mismo que los demás. El resultado fue el siguiente:

Tabla 74  
Tabla ANOVA de absorción máxima

ANOVA					
Absorción máxima					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.084	3	.028	420.79	.000
				2	
Dentro de grupos	.001	16	.000		
Total	.085	19			

Fuente: SPSS

La significancia en este ensayo es menor a 0.05, por lo tanto, si existen diferencias significativas. Para conocer que tratamiento o tratamientos tiene diferencias significativas se realizó la prueba de TUKEY.

Tabla 75  
Tabla TUKEY de absorción máxima

Absorción máxima					
HSD Tukey <sup>a</sup>					
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
DM0%	5	15.2072			
		0			
DM15%	5		15.26460		
DM20%	5			15.31420	
DM30%	5				15.38320
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.6 Prueba de hipótesis de densidad

Los resultados obtenidos de la prueba estadística para este ensayo fue el siguiente:

Tabla 76  
Tabla ANOVA de densidad

ANOVA					
Densidad	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.004	3	.001	52.773	.000
Dentro de grupos	.000	16	.000		
Total	.004	19			

Fuente: SPSS

La significancia en esta prueba es menor a 0.05 entonces se procedió a realizar la prueba de TUKEY para descubrir si todos tienen diferencia significativa o solo uno. El resultado fue el siguiente:

Tabla 77  
 Tabla TUKEY de densidad

Densidad				
HSD Tukey <sup>a</sup>				
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	
DM0%	5	1.95280		
DM15%	5	1.95800		
DM20%	5		1.97940	
DM30%	5		1.98460	
Sig.		.352		.352

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.7 Prueba de hipótesis de succión

Los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis del ensayo de succión fue el siguiente:

Tabla 78  
 Tabla ANOVA de succión

ANOVA					
Succión	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	168.153	3	56.051	30.038	.000
Dentro de grupos	29.856	16	1.866		
Total	198.008	19			

Fuente: SPSS

La significancia para el ensayo de succión es menor a 0.05 indicando que existen diferencias significativas, por lo que se realizó la prueba de TUKEY. El resultado fue el siguiente:

Tabla 79  
 Tabla TUKEY de succión

Succión				
HSD Tukey <sup>a</sup>				
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3

DM30%	5	31.7684		
		0		
DM20%	5		36.08340	
DM15%	5		36.68420	
DM0%	5			39.91140
Sig.		1.000	.897	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.8 Prueba de hipótesis resistencia a compresión

Para el ensayo de resistencia a compresión, el resultado fue el siguiente:

Tabla 80  
*Tabla ANOVA de resistencia a compresión*

ANOVA					
Resistencia a compresión					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16179.738	3	5393.246	42.950	.000
Dentro de grupos	2009.144	16	125.572		
Total	18188.882	19			

Fuente: SPSS

La significancia en este ensayo es menor a 0.05, por lo tanto, se encontraron diferencias significativas, los cuales se pudieron ver de manera específica con la prueba de TUKEY.

Tabla 81  
*Tabla TUKEY de resistencia a compresión*

Resistencia a compresión					
HSD Tukey <sup>a</sup>					
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	
DM0%	5	181.11100			
DM15%	5	191.21240			
DM20%	5		220.71180		
DM30%	5			254.11860	
Sig.		.503	1.000	1.000	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.1.9 Prueba de hipótesis de Eflorescencia

En este caso, por tener variables ordinales, se procedió a usar la prueba de Q de Cochran, el resultado fue el siguiente:

Tabla 82  
*Tabla Q de COCHRAN de eflorescencia*

<b>Estadísticos de prueba</b>	
N	5
Q de Cochran	5.000 <sup>a</sup>
gl	3
Sig. asintótica	.172

a. 5 se trata como un éxito.

Fuente: SPSS

### 3.12.2 Prueba de hipótesis N°02

Para poder hacer la comprobación de esta hipótesis, es necesario también determinar si existen diferencias significativas. Para este ensayo también se realizó la prueba de ANOVA de un solo factor. El resultado fue el siguiente:

Tabla 83  
*Tabla ANOVA de conductividad térmica*

<b>ANOVA</b>					
Conductividad Térmica					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.003	3	.001	15.118	.000
Dentro de grupos	.001	12	.000		
Total	.004	15			

Fuente: SPSS

Como se pudo observar en la tabla obtenida por la prueba de ANOVA, la significancia es menor a 0.05, concluyendo que existen diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 84  
*Tabla TUKEY de conductividad térmica*

<b>Conductividad Térmica</b>		
HSD Tukey <sup>a</sup>		
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05

		1	2
DM0%	4	.524945	
			7
DM15%	4	.5323224	
DM20%	4	.5350387	
DM30%	4		.5635248
Sig.		.395	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: SPSS

### 3.12.3 Prueba de hipótesis N°03

Para la prueba de esta última hipótesis, primero se realizó un análisis de costos de producción al ladrillo propiamente dicho y a este se le agregó el costo de la adición de vidrio, finalmente se hizo la comparación estadística.

Para el cálculo del precio de producción de la unidad de albañilería comercial, se basó en el peso del ladrillo (3 kg aprox). El análisis se realizó de la siguiente manera:

Tabla 85

*Análisis de costo de producción unitario del ladrillo KK 18 huecos*

Jornada:	8 h/d	Rendimiento:		28000 und/d		
Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>						
Operador de equipo liviano	hh	1	0.00029	8.400	0.002	
Oficial	hh	6	0.001	6.013	0.010	
<b>Materiales</b>						
Arcilla	m3		0.006	10.000	0.060	
Arena fina	m3		0.003	10.000	0.030	
<b>Equipos y herramientas</b>						
Herramientas manuales	%MO		3.000	0.009	0.000	
Maquinaria pre/post moldeo	glb		1.000	0.400	0.400	
				<b>C.U.</b>	<b>0.503</b>	

Fuente: S10

Seguidamente al precio de producción del ladrillo convencional se le sumó el costo de vidrio triturado por dosificación. El análisis de costo por kilo de vidrio triturado fue el siguiente:

Tabla 86

*Análisis de costo de producción unitario por kilo de vidrio triturado*

Jornada:	8 h/d	Rendimiento:		4000 kg/d
----------	-------	--------------	--	-----------

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>					
Operador de equipo liviano	hh	1	0.00029	8.400	0.002
<b>Materiales</b>					
Vidrio reciclado	kg		1.000	0.313	0.313
<b>Equipos y herramientas</b>					
Molino continuo 4B	glb		1.000	0.030	0.030
				<b>C.U.</b>	<b>0.345</b>

Fuente: S10

Finalmente, el costo de cada unidad de ladrillo patrón y con adición de vidrio, fue el siguiente (el precio final de los ladrillos incluye la disminución del costo unitario del diseño patrón, porque se disminuye la cantidad de materia prima por la adición de vidrio):

Tabla 87

*Costo final de la unidad de ladrillo de cada uno de los tratamientos*

<b>LADRILLO KK 18 HUECOS</b>	<b>PRECIO (S/)</b>
DM0	0.503
DM15	0.642
DM20	0.689
DM30	0.782

Fuente: Propia

## Capítulo 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Prueba de hipótesis N°01

#### 4.1.1 Prueba de hipótesis de variación dimensional

Desde el punto de vista estadístico, la variación dimensional de los ladrillos con adición de vidrio, no tiene diferencias significativas entre sí, a diferencia del ladrillo patrón. Eso indica que, sin importar si se decida utilizar DM15, DM20 o DM30, estadísticamente, ninguno tendrá diferencias considerables en cuanto a su variación dimensional

Desde el punto de vista experimental, según la tabla 16, el diseño de mezcla patrón es el único que se clasifica como tipo IV, por su variación dimensional en su longitud ya que la norma indica que para ser un ladrillo tipo V la variación porcentual debe ser de  $\pm 1$ , y el DM0 tiene un +2, también se pudo observar que el de menor variación dimensional fue el diseño de mezcla con 30% de vidrio, clasificándose de TIPO V, demostrando así que a mayor adición de vidrio menor variación dimensional.

#### 4.1.2 Prueba de hipótesis de alabeo

Desde el punto de vista estadístico, se pudo observar que no existe diferencias significativas entre todos los tratamientos, indicando que no importa el diseño de mezcla que se elija, este no va variar en cuanto a su alabeo.

Desde el punto de vista experimental, la tabla 21 muestra que en las unidades de albañilería lo que más se presenta es la concavidad, teniendo el diseño de mezcla patrón un promedio de 1.044 mm de concavidad, siendo este el mayor en proporción a los 3 diseños de mezcla restantes y el menor sería el diseño DM30 con 0.786 mm. En cuanto a convexidad, el diseño de mezcla DM20 presenta 0.79 mm, siendo este el mayor de todos y el que menor convexidad presenta es el diseño DM0 con 0.235 mm.

Finalmente, se pudo observar que tanto como el diseño patrón y los tres diseños de mezcla con adición de vidrio, todos son clasificados como ladrillos TIPO V como lo muestra la tabla 22.

### 4.1.3 Prueba de hipótesis de porcentaje de vacíos

Al igual que el ensayo de alabeo, desde el punto de vista estadístico, no existen diferencias significativas entre todos los tratamientos. Concluyendo en que no importa cual diseño se utilice, ninguno de ellos tiene diferencias considerables para tomar en cuenta.

Desde el punto de vista experimental, los resultados de los diferentes diseños de mezcla indican que el porcentaje de vacíos es muy similar, ya que la diferencia en porcentajes es por el mal manejo de las unidades de albañilería al ser recién extruidas al agrandar o modificar los alveolos.

La norma E.070 define como unidad de albañilería solida (o maciza) aquellos que tiene un 30% o menos de porcentaje de vacíos. Los resultados obtenidos indican que todos los diseños de mezcla sobrepasan este límite, siendo catalogados como unidades de albañilería hueca.

Tabla 88  
*Resumen de porcentaje de vacíos*

TRATAMIENTOS	% DE VACIOS
DM0%	37.02
DM15%	36.98
DM20%	37.01
DM30%	36.96

Fuente: Propia

### 4.1.4 Prueba de hipótesis de absorción

Desde el punto de vista estadístico, las pruebas realizadas muestran que los tratamientos DM0% y DM15% no tiene diferencias significativas, mostrando que sin importa cuál de los dos tratamientos se utilicen, no tendrá variación significativa en cuanto a absorción; a diferencias de los tratamientos DM20% y DM30% que si existen diferencias significativas en cuanto a absorción.

Desde el punto de vista experimental, según la norma E.070 la absorción en unidades de arcilla no debe superar el 22%. Según los resultados obtenidos de este ensayo, todos

los especímenes de cada diseño de mezcla cumplen con este requisito ya que el porcentaje máximo de absorción es del diseño de mezcla patrón con un 12.93% y el resultado menor con un porcentaje de 11.75% perteneciente al diseño de mezcla con un 30% de vidrio incorporado cumpliendo así todos los tratamientos la condición de absorción máxima de la norma E.070.

#### **4.1.5 Prueba de hipótesis de absorción máxima**

Desde el punto de vista estadístico, todos los tratamientos tienen diferencias significativas. Eso quiere decir que según se elija el diseño de mezcla, estadísticamente su comportamiento diferirá del resto de tratamientos.

Desde el punto de vista experimental, según la tabla 45, el diseño de mezcla patrón tiene un coeficiente de 0.85, siendo este el límite permitido, y el diseño de mezcla con 30% de vidrio el que mejor coeficiente de saturación posee. Eso indica que DM0 absorbe mayor cantidad de agua que el resto, demostrando así que este diseño contiene mayor cantidad de porosidad en sus unidades.

#### **4.1.6 Prueba de hipótesis de densidad**

Desde el punto de vista estadístico, se puede deducir que utilizar DM0 o DM15 no se van observar diferencias significativas en cuanto a su densidad, al igual que utilizar DM20 o DM30, ya que entre ellos tampoco se encontró diferencias significativas.

Desde el punto de vista experimental, la densidad para unidades de albañilería se localiza en el rango de 1.90 hasta 2.00 gr/cm<sup>3</sup>. Según los resultados del ensayo de densidad todos los diseños de mezcla cumplen con este requisito, siendo el DM0 el menor de ellos con una densidad de 1.953 y el mayor con una densidad de 1.985 correspondiente al DM30.

La porosidad en una unidad de albañilería influye directamente a su resistencia a compresión y el peso del mismo. A mayor densidad mayor resistencia a compresión.

#### **4.1.7 Prueba de hipótesis de succión**

Desde el punto de vista estadístico, los tratamientos DM20 y DM15 no tienen diferencias significativas entre sí, en contraste con DM0 y DM30 que tiene diferencias significativas con el resto de tratamientos. Indicando que si se decide utilizar el tratamiento DM20 y DM15 no obtendrán diferentes valores de succión.

Desde el punto de vista experimental, la norma E.070 recomienda que la succión este comprendida entre 10 a 20 gr/(200 cm<sup>2</sup>-min) o de lo contrario la unidad de albañilería succionará el agua del mortero rápidamente y reducirá su adherencia. Como se muestra en la tabla 37 todos los diseños de mezcla sobrepasan el máximo recomendado, por lo que será necesario humedecer las muestras durante media hora antes del asentado para reducir la succión de asentado.

#### **4.1.8 Prueba de hipótesis de resistencia a compresión**

Desde el punto de vista estadístico, los tratamientos DM0 y DM15 no tiene diferencias significativas entre sí, en contraste con DM20 y DM30 que si se encontró diferencias significativas. Concluyendo que al usar DM0 o DM15 no se tendrá resultados significativos en cuanto a su resistencia.

Desde el punto de vista experimental, según los resultados obtenidos en cuanto a variación dimensional, alabeo y resistencia a compresión de los diferentes diseños de mezcla y en base a la norma E.070 se pudo finalmente clasificar a las unidades de albañilería, siendo el DM30 y DM20 como ladrillos TIPO V y DM0 con DM15 ladrillos TIPO IV.

#### **4.1.9 Prueba de hipótesis de compresión diagonal en muretes**

Desde el punto de vista experimental, la norma E.070 tiene parámetros mínimos que tiene que cumplir la unidad de albañilería a usar para función estructural. En este caso el parámetro mínimo en muretes para ladrillos King Kong industrial 0.8 KN (8.1 kg/cm<sup>2</sup>) y como se puede observar en la tabla 54 todos los diseños de mezcla cumplen con el

requisito, dado que la resistencia a compresión axial mínima es del DM0 con 8.626 kg/cm<sup>2</sup> y el máximo es del DM30 con 10.368 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.1.10 Prueba de hipótesis de eflorescencia**

Desde el punto de vista estadístico, por tener su significancia mayor a 0.05 indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Concluyendo que sin importa cual diseño se escoja, ninguno tendrá diferencias significativas en cuanto a eflorescencia.

Finalmente, con los datos estadísticos obtenidos se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>) que indica “la adición de vidrio no afectará negativamente en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de arcilla cocida, especificada en el RNE E.070” ya que, desde el punto de vista experimental, las propiedades de los ladrillos con adición de vidrio no afectan negativamente sobre el ladrillo patrón, más al contrario, mejoran sus propiedades mecánicas y físicas. En específico el ladrillo con adición de vidrio del 30%, quien obtuvo mejores resultados.

Estadísticamente, se pudieron observar que, aunque los ensayos de alabeo, porcentaje de vacíos y eflorescencia los tratamientos no tengan diferencias significativas, ningún tratamiento afecta negativamente en ningún ensayo en referencia al diseño patrón.

#### **4.2 Prueba de hipótesis N°02**

Desde el punto de vista estadístico, se pudo observar que existen diferencias significativas de los tratamientos DM0, DM15 y DM20 en relación al tratamiento DM30. Concluyendo finalmente que estadísticamente hablando no hay diferencias significativas en cuanto a su conductividad térmica si se decide utilizar los tratamientos DM0, DM15 Y DM20.

Desde el punto de vista experimental, la conductividad térmica va en aumento con respecto al diseño de mezcla patrón. La norma EM.110 indica el coeficiente de conductividad térmica (W/m.°K) en el Anexo N°3 para bloques de arcilla – Ladrillo tipo

King Kong de 0.47. De acuerdo a este dato se puede observar que la conductividad térmica de los diseños de mezcla no cumple con este requisito. Siendo el diseño de mezcla patrón el más cercano a la conductividad térmica indicada en la norma.

Al aumentar la conductividad térmica por la adición de vidrio, se convierte en un mejor conductor térmico que el ladrillo convencional. Este nuevo material funcionará mejor en hogares por que tendrá más facilidad de conducción de calor desde el exterior al interior de la vivienda (por conducción). El confort térmico se podrá sentir más rápido a diferencia del ladrillo convencional, pero una vez que el calor se haya transferido al otro lado de la cara del ladrillo, se necesitará usar un material de revestimiento que tenga una conductividad baja para que, al perder calor, salga de manera más lenta por tener un revestimiento con baja conductividad térmica.

Se recomienda usar como material de revestimiento interno al yeso por tener una conductividad térmica de 0.149 w/m.°K.

A continuación, se calculará la velocidad de transferencia de calor desde la cara externa del ladrillo hacia la cara interna de la vivienda con revestimiento de yeso.

Para poder calcular la velocidad de conducción del calor de un punto hacia otro, se usa la siguiente formula:

$$\dot{Q} = k * A * \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad ( 18 )$$

Donde:

$\dot{Q}$ : velocidad de conducción del calor (watts)

k: conductividad térmica del material (w/m.°K)

A: área unitaria (m<sup>2</sup>)

T1 y T2: temperaturas de los puntos extremos (grados Kelvin)

L: espesor de la pared (m)

Aplicando la ecuación 18 para este caso (pared de ladrillo con revestimiento de yeso).

La fórmula sería:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L_{ladrillo}}{A_{ladrillo} * k_{ladrillo}} + \frac{L_{yeso}}{A_{yeso} * k_{yeso}}} \quad (19)$$

Para el primer caso (pared de ladrillo con revestimiento de yeso), se supondrá que es de DIA y el ambiente interno de la vivienda obtendrá calor por medio de conducción. Se calculará la velocidad de conducción del calor para el ladrillo patrón y también para el ladrillo DM30.

Datos:

Espesor de la pared: 0.12 m

Espesor del recubrimiento (yeso): 0.015 m

k ladrillo DM0: 0.525 w/m.°k

k ladrillo DM30: 0.564 w/m.°k

k yeso: 0.149 w/m.°k

T1: 34 °C / 307.15 °K

T2: 24 °C / 297.15 °K

Área de la pared de ladrillo: 1 m<sup>2</sup>

Área del recubrimiento con yeso: 1 m<sup>2</sup>

Solución para la pared con ladrillo patrón y recubrimiento de yeso:

$$\dot{Q} = \frac{307.15 - 297.15}{\frac{0.12}{1 * 0.525} + \frac{0.015}{1 * 0.149}} \quad (20)$$

$$\dot{Q} = 30.37 \text{ watts} \quad (21)$$

Solución para la pared con ladrillo DM30 y recubrimiento de yeso:

$$\dot{Q} = \frac{307.15 - 297.15}{\frac{0.12}{1 * 0.564} + \frac{0.015}{1 * 0.149}} \quad (22)$$

$$\dot{Q} = 31.90 \text{ watts} \quad (23)$$

Para el siguiente ejemplo, se supondrá que es de NOCHE y el ambiente interno de la vivienda transferirá calor por medio de conducción hacia el exterior. Se calculará la

velocidad de conducción del calor para el ladrillo patrón y también para el ladrillo DM30 (el muro también será compuesto como el primer ejemplo).

Datos:

Espesor de la pared: 0.12 m

Espesor del recubrimiento (yeso): 0.015 m

k ladrillo DM0: 0.525 w/m.°k

k ladrillo DM30: 0.564 w/m.°k

k yeso: 0.149 w/m.°k

T1: 24 °C / 297.15 °K

T2: 15 °C / 288.15 °K

Área de la pared de ladrillo: 1 m<sup>2</sup>

Área del recubrimiento con yeso: 1 m<sup>2</sup>

Solución para la pared con ladrillo patrón y recubrimiento de yeso:

$$\dot{Q} = \frac{297.15 - 288.15}{\frac{0.12}{1 * 0.525} + \frac{0.015}{1 * 0.149}} \quad (24)$$

$$\dot{Q} = 27.34 \text{ watts} \quad (25)$$

Solución para la pared con ladrillo DM30 y recubrimiento de yeso:

$$\dot{Q} = \frac{297.15 - 288.15}{\frac{0.12}{1 * 0.564} + \frac{0.015}{1 * 0.149}} \quad (26)$$

$$\dot{Q} = 28.71 \text{ watts} \quad (27)$$

Para el siguiente ejemplo, ya no se calculará la velocidad de transferencia de calor en una pared compuesta (ladrillo con recubrimiento) sino que se tomará solo el muro de ladrillo. Las velocidades se calcularán para el ladrillo patrón DM0 y para el ladrillo DM30.

Datos:

Espesor de la pared: 0.12 m

k ladrillo DM0: 0.525 w/m.°k

k ladrillo DM30: 0.564 w/m.°k

T1: 34 °C / 307.15 °K

T2: 24 °C / 297.15 °K

Área de la pared de ladrillo: 1 m<sup>2</sup>

Solución para la pared de ladrillo patrón:

$$\dot{Q} = 0.525 * 1 * \frac{(307.15 - 297.15)}{0.12} \quad (28)$$

$$\dot{Q} = 43.75 \text{ watts} \quad (29)$$

Solución para la pared de ladrillo DM30:

$$\dot{Q} = 0.564 * 1 * \frac{(307.15 - 297.15)}{0.12} \quad (30)$$

$$\dot{Q} = 47.00 \text{ watts} \quad (31)$$

Indicando finalmente que, con el recubrimiento de yeso, la velocidad del calor que se transfiere del exterior al interior y viceversa es menor a la pared que no cuenta con recubrimiento. Concluyendo que la pared sin recubrimiento absorbe el calor de manera rápida, pero de ese mismo modo lo pierde. A diferencia del ladrillo con revestimiento, el cual absorbe el calor más lento, pero de ese mismo modo, retiene más el calor haciendo que su pérdida no sea más rápida por tener el recubrimiento de yeso.

Finalmente se acepta la hipótesis alterna (Ha) que indica que la adición de vidrio generaría cambios significativos en la conductividad térmica del ladrillo. El cual se pudo comprobar por la prueba estadística de ANOVA y TUKEY.

#### 4.3 Prueba de hipótesis N°03

Con base a los resultados obtenidos en el ITEM 3.10 y 3.11 se recomienda utilizar el ladrillo con 30% de adición de vidrio por tener una clasificación TIPO V, con resistencia a compresión de 242.30 kg/cm<sup>2</sup> y ser un mejor material de conducción del calor. El costo por unidad de este ladrillo será de S/0.782 (tabla 90) teniendo una diferencia de S/ 0.279 con respecto al ladrillo convencional TIPO IV.

Considerando que el ladrillo DM30 no tiene la misma clasificación del ladrillo patrón DM0, una comparación en precios a ese nivel no sería necesario. Por lo tanto, conociendo que el costo de mercado del ladrillo KK 18 huecos TIPO V esta S/ 0.89 c/u y el costo del ladrillo que este proyecto propone está S/ 0.782. Este ladrillo DM30 sería ligeramente menos costoso al ladrillo convencional tipo V.

## Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

Según los resultados obtenidos en el Capítulo III, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- a. Es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos en el Perú ya que es un material muy popular y porque el Perú es un territorio sísmico, por lo tanto, el comportamiento de las unidades de albañilería dependerá directamente de sus propiedades.
- b. Para realizar el diseño de mezcla de ladrillos, es necesario cumplir con los parámetros indicados en relación a su granulometría (DIAGRAMA DE WINKLER), su índice de plasticidad (DIAGRAMA IP-LP) y su composición química.
- c. La materia prima que se utilizan en la ladrillera LATESA cumplen con los parámetros indicados para la elaboración de unidades de albañilería de arcilla cocida. Teniendo el diseño patrón un 21.22% de arcillas, un 44.65% de arena fina y un 34.13% de limos, un índice de plasticidad de 10.34 y en cuanto a su composición química, todos los componentes están dentro de los parámetros a excepción del óxido de sodio que tiene un 3.273%, siendo el máximo permitido de 1.2%, produciendo en las unidades de albañilería ligero eflorescimiento, por ser uno de las principales sales causantes del mismo.
- d. La eflorescencia es un fenómeno complejo que no solo se debe atribuir a la composición química de las arcillas, otros motivos que también pueden generar eflorescencias son: la calidad de agua que se utiliza en la fabricación de ladrillos y el proceso de cocción del mismo.
- e. En aquellas arcillas con contenidos superiores al 5 % de óxido de sodio y óxido de potasio, la temperatura de cocción debe ser entre los 825 y 850 °C.

- f. El diseño de mezcla final que se utilizó de acuerdo a los ensayos es de la combinación de las tres canteras en proporciones de 1 de cantera 1 (arcilla), cantera 2 (arcilla) y cantera 3 (arena fina).
- g. La suma del óxido de potasio y el óxido de sodio suma 5.703% acelera el proceso de vitrificaciones y por ende aumenta su resistencia a compresión de las unidades de albañilería.
- h. Según los resultados obtenidos de los ensayos clasificatorios, los ladrillos según su diseño de mezcla tienen que cumplir con los tres requisitos (resistencia a compresión, alabeo y variación dimensional) para ser clasificados si son del tipo V o del tipo IV. Si llegase a incumplir cualquiera de los tres requisitos automáticamente cambia de categoría, es por eso que el Diseño de mezcla patrón (DM0) y el Diseño de mezcla del 15% de vidrio (DM15) llegaron a ser clasificados como ladrillos TIPO IV y el Diseño de mezcla con el 20% y el Diseño de mezcla con el 30% de vidrio fueron clasificados como ladrillos TIPO V.
- i. El diseño de mezcla que mayor resistencia a compresión tuvo fue el Diseño de mezcla con el 30% de vidrio, obteniendo un resultado de 242.30 kg/cm<sup>2</sup>, superando en un 35.18% del parámetro mínimo para ladrillos tipo V.
- j. La resistencia a compresión en las unidades tiene relación directa con su densidad. Teniendo el diseño de mezcla con 30% de vidrio la mayor densidad que los demás diseños, siendo de 1.985 kg/cm<sup>3</sup>, estando dentro del parámetro de 1.90 a 2.00 kg/cm<sup>3</sup>. Este resultado confirma la relación densidad- resistencia a compresión (a mayor densidad mayor resistencia).
- k. La absorción de las unidades de albañilería representa la cantidad de espacios vacíos que poseen cada uno; a más espacios vacíos más será su absorción. Como se puede concluir por los resultados obtenidos, el diseño que mayor absorción obtuvo fue del diseño de mezcla patrón (DM0) con un 12.926%, estando

dentro del valor permitido de 22% como máximo según la Norma E.070 “Albañilería”.

- l. Al contener un 3.273% de óxido de sodio ocasionó que haya presencia de eflorescimiento en los bordes de cada uno de los diseños de mezcla, teniendo el DM30% menor presencia de eflorescimiento.
- m. En cuanto al ensayo de compresión diagonal en muretes todos los diseños cumplen con el límite mínimo para unidades de arcilla King Kong industrial que indica un mínimo de 0.8 Mpa (8.1 kg/cm<sup>2</sup>), siendo el Diseño de mezcla patrón (DM0) el mínimo con un 8.626 kg/cm<sup>2</sup> y el máximo con un 10.368 perteneciente al Diseño de mezcla con el 30% de vidrio.
- n. Como se pudo observar en el ensayo de succión ninguno de los diseños de mezcla cumple con el requisito ya que el límite máximo es de 20 g/(200 cm<sup>2</sup>-min) y el mínimo en los ensayos es de 31.768 correspondiente al Diseño de mezcla con 30% de vidrio (DM30) eso indica que necesariamente antes del asentado se tendrá que humedecer cada unidad de albañilería durante 1 hora como mínimo ya que de este depende el buen asentado de los ladrillos, mientras más alto sea la succión más absorberá el agua del mortero disminuyendo la adherencia entre ladrillos.
- o. Con el ensayo de conductividad térmica se logró conocer que la adición de vidrio en el ladrillo King Kong 18 huecos hizo que aumentará su conductividad térmica. Siendo que la conductividad térmica del ladrillo patrón fue de 0.525 W/m.°K y con el aumento del 30% de vidrio molido, éste aumentó a 0.564 Wm.°K, (véase capítulo III ítem 3.10.4 y anexo B.7)
- p. El costo de producción por unidades de ladrillo para un 30% de adición de vidrio molido, se incrementó a S/ 0.782, el cual tiene un precio razonable por ser un ladrillo TIPO V en relación al ladrillo convencional TIPO V que se oferta en el mercado.

q. Finalmente, la toma de decisión para saber cuál ladrillo elegir, es de acuerdo al tipo de edificación que se desea construir. Ya que al optar por el ladrillo DM30, este tiene mejores propiedades mecánicas y físicas y por ende el costo es mayor al ladrillo patrón que tiene propiedades físicas y mecánicas esenciales.

## RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda que para la elaboración de unidades de albañilería se tenga un control en la dosificación de la mezcla en la etapa de macerado (antes de pasar por la tolva alimentadora) para que no haya variación significativa en la resistencia a compresión de los ladrillos.
- b. Para no tener problemas con el moldeo y la humectación de la materia prima, se recomienda que se pueda trabajar con muestras de índice de plasticidad de 15 (ideal para ladrillos de arcilla).
- c. Se recomienda controlar la composición química de los diseños de mezcla utilizados en la elaboración de ladrillos ya que es uno de los ensayos más importantes por la cantidad de información que posee. En este caso, desde un principio se supo que las unidades de ladrillo tendrían un ligero eflorescimiento por la presencia de sales como el sodio (en altas cantidades), ya que es sabido que una de las causas del eflorescimiento en las unidades cocidas de arcilla es por la presencia de sales solubles.
- d. Se debe considerar que a mayor temperatura de cocción menor será el contenido de sales solubles (causantes de eflorescimiento), por tal motivo, se recomienda utilizar arcillas con bajo contenido de óxido de sodio y óxido de potasio, ya que al tener un 1% de estos óxidos, la temperatura de cocción ideal para las arcillas sería de 1100 y 1200 °C.
- e. Se recomienda trabajar con arcillas que tengan un porcentaje bajo de óxido de magnesio, ya que la alta concentración del mismo podría producir eflorescencia.
- f. Es imposible conseguir las características óptimas que un ladrillo necesita en una sola cantera, por eso en su mayoría, las empresas ladrilleras optan por hacer una combinación de canteras.

- g. Al hacer la combinación de canteras, no se recomienda emplear más de tres canteras, ya que, si bien 4 o más canteras pueden cumplir con las características requeridas, ésta en la práctica, tomaría más tiempo al combinar de manera homogénea las canteras en el área de macerado. Entonces, se recomienda usar tres canteras que cumplan la mayoría de las características que se requiere, y si alguna característica no cumple, que esta no afecte o influya directamente en las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería.
- h. Se recomienda tener control exhaustivo de la humectación de la muestra, ya que, a mayor contenido de humedad de la muestra cruda, mayor será su variación dimensional disminuyendo su resistencia a compresión de la unidad de albañilería.

## REFERENCIAS

- Aguilar Juárez, J. (2008). *REDISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD TERMICA PARA AISLANTES TERMICOS*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Análisis de varianza con medidas repetidas El procedimiento Modelo lineal general: Medidas repetidas*. (n.d.). Retrieved October 24, 2018, from <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/GuiaSPSS/16anovar.pdf>
- Ávila Parco, J. (2016). *PRUEBAS DE HIPÓTESIS-ANOVA* (p. 23).
- Barranzuela Lescano, J. (2014). PROCESO PRODUCTIVO DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA PRODUCIDOS EN LA REGION PIURA. In *Universidad de Piura*. Universidad de Piura.
- Caballero Meza, B., & Florez Lengua, O. (2016). *ELABORACION DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Universidad de Cartagena.
- Calero, I. (2017). *¿En España se recicla como en el resto de Europa?* <http://lab.rtve.es/las-claves/como-recicla-europa-2018-05-10/>
- Camacho, C. (2015). *ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA MEDIDAS REPETIDAS* (p. 17).
- Camelo Ramirez, J. E. (2009). *PROPUESTA DEL MONTAJE DE UNA FÁBRICA DE LÁMINAS DE VIDRIO EN RIOHACHA Y PRODUCTOS SECUNDARIOS A PARTIR DE VIDRIO RECICLABLE* [Pontificia Universidad Javerana]. <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis243.pdf>
- Cardenas, J. (2015). *Qué es ANOVA de un factor y cómo analizarla fácilmente*. Blog de Sociología. <http://networkianos.com/anova-de-un-factor-que-es-como-analizar/>
- Farrás Pérez, L. (2018). *Tu basura mueve miles de millones de euros en todo el mundo*. La Vanguardia .

<https://www.lavanguardia.com/natural/20180603/443984844846/residuo-reciclaje-septimo-recurso-recurso.html>

Gómez Gómez, M., Danglot Banck, C., & Vega Franco, L. (2013). COMO SELECCIONAR UNA PRUEBA ESTADÍSTICA. *Revista Mexicana de Pediatría*, 80, 5. <http://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2013/sp131g.pdf>

González Ruiz, L. (1993). MARKETING DEL RECLICADO [Universidad Complutense de Madrid]. In *Marketing Reciclado*. <http://eprints.ucm.es/3469/1/T18981.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. In McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Sexta Edic, Vol. 53, Issue 9). McGrawHill Education. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Joaquín Amat, R. (2016). ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. 1–49. [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/219148\\_83bdaf48722d440e894325cb3889000c.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/219148_83bdaf48722d440e894325cb3889000c.html)

Lozano Ortiz, M. M., & Gonzáles Peláez, S. (2016). USO DE RESIDUOS CERÁMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS DE ARCILLA COCIDOS DEL SECTOR ALFARERO DE CANDELARIA. Pontificia Universidad Javierana.

Maldonado Carrasco, D. A. (2003). ESTUDIO DE LA ARCILLA PARA LA FABRICACION DEL LADRILLO COCIDO EN HUANCAYO Y PUCALLPA. In *Universidad Nacional de Ingeniería*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Mamani Ruiz, R. C. (2015). ESTUDIO Y EVALUACION DE FORMULACION DE MEZCLAS PARA LA OBTENCION DE LADRILLOS DE ARCILLA EN LA CIUDAD DE CUSCO. Universidad Nacional de San Agustín.

Mata, A., & Galvez, C. (1996). CONOCIMIENTO DEL PROCESO DE RECICLAJE DE ENVASES DE VIDRIO; PROPUESTAS DE MEJORA DEL PROCESO ACTUAL Y

- ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLANTACION DEL MISMO EN LA PLATA VIDRIERA GUADALAJARA. In *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* (Vol. 15, Issue 3, p. 15). <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3166627>
- Mella Stappung, A. (2004). *ESTUDIO, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERÁMICA DEL LADRILLO*. Universidad del Bio Bio.
- Norma E 0.70 Albañilería. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (pp. 295–309).
- Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. (2014). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (p. 50). Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Norma Técnica Peruana 331.017. (2003). *Normas Técnicas* (Issue Lima 41).
- Norma Técnica Peruana 331.018. (1978). *Normas técnicas*.
- Ponce Cruz, J. F. (2017). *REDUCCION DE ROTURAS EN LADRILLO MECANIZADO POR LA PRESENCIA DE CALIZA EN LAS ARCILLAS DE LA INDUSTRIA DE CERÁMICOS COMPACTO S.R.L.-JULIACA*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Riquelme, M. (2016). *Distribución normal en estadísticas*. Web y Empresas. <https://www.webyempresas.com/distribucion-normal-en-estadisticas/>
- Rivera Martínez, L. E. (2013). MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE TABIQUES ECOLÓGICOS [Instituto Tecnológico de Sonora]. In *I.T de SONORA* (Vol. 5, Issue poca resistencia). <http://www.usg.com.mx/recursos/ManualDurock2011low.pdf>
- Ruíz Fernández, D. M. (2015). *INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIDRIO TRITURADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE UN LADRILLO DE ARCILLA ARTESANAL DE CAJAMARCA*. Universidad Privada del Norte.
- Sánchez Turcios, R. Al. (2015). *t-Student. Usos y abusos*. 26, 59–61. <http://www.medigraphic.com/revmexcardiolwww.medigraphic.org.mx>
- Santos Rocha, M. E. (2018). *“DISEÑO Y ELABORACION DE BLOQUES DE*

TERMOARCILLA” [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA].

<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7663>

Supo, J. (2016). *Niveles de investigacion*. Bioestadístico.

<https://es.slideshare.net/josesupo/niveles-de-investigacion-15895478>

Tamayo, R., Guzmán, R., López, A., & Sacari, E. (2012). *EFFECTO REFORZANTE DEL*

*VIDRIO RECICLADO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES*. 12,

111–116.

Vicéns Otero, J., Herrarte Sánchez, A., & Medina Moral, E. (2005). ANÁLISIS DE

VARIANZA (ANOVA). *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1, 14.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Walpole E., R., Myers H., R., Myers L., S., & Ye, K. (2012). *PROBABILIDAD Y*

*ESTADÍSTICA PARA INGENIERÍA Y CIENCIAS* (PEARSON EDUCACION (Ed.);

Novena edi).

## ANEXOS

### Anexo A. Ensayos a la materia prima

#### Anexo A.1 Ensayo de granulometría por tamizado e hidrometría



*Una Institución Adventista*

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



#### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS				
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI				
<b>ENSAYO</b>	ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO				
<b>NORMA</b>	ASTM D 422	<b>CANTERA</b>	N° 01, 02 Y 03	<b>FECHA</b>	10/05/2019

Peso de la muestra seca + recipiente (grs) :	<b>1892.00</b>
Peso del recipiente (grs) :	<b>292.00</b>
Peso de la muestra seca global, W <sub>s</sub> (grs) :	<b>1600.00</b>

#### Análisis por Tamizado para agregado fino

NORMA ASTM					
TAMIZ N°	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
# 4	4.750	0.000	0.000	0.000	100.000
# 8	2.360	0.000	0.000	0.000	100.000
# 10	2.000	5.810	0.363	0.363	99.637
# 20	0.850	5.140	0.321	0.684	99.316
# 40	0.430	11.100	0.694	1.378	98.622
# 60	0.250	39.360	2.460	3.838	96.162
# 100	0.150	131.590	8.224	12.063	87.938
# 200	0.075	192.180	12.011	24.074	75.926
<b>PASA # 200</b>	<b>0.075</b>	<b>1211.550</b>	<b>75.722</b>	<b>99.796</b>	<b>0.204</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1596.730</b>			

<b>Perdida:</b>	3.270
<b>Perdida %:</b>	0.204

<b>D10</b> = 0.000167	<b>D30</b> = 0.003435	<b>D60</b> = 0.029547
	<b>Cu</b> = 176.67	
	<b>Cc</b> = 2.39	



PROYECTO : LADRILLERA LATESA S.A.C  
SOLICITADO : DISEÑO DE MEZCLAS PARA LADRILLO  
UBICACIÓN : Distrito de San Jerónimo - Cusco  
REFERENCIA : C/S N°028-19 (Recibo N°. 001-009265)  
FECHA : AGOSTO DEL 2019

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO (ASTM D 854)**

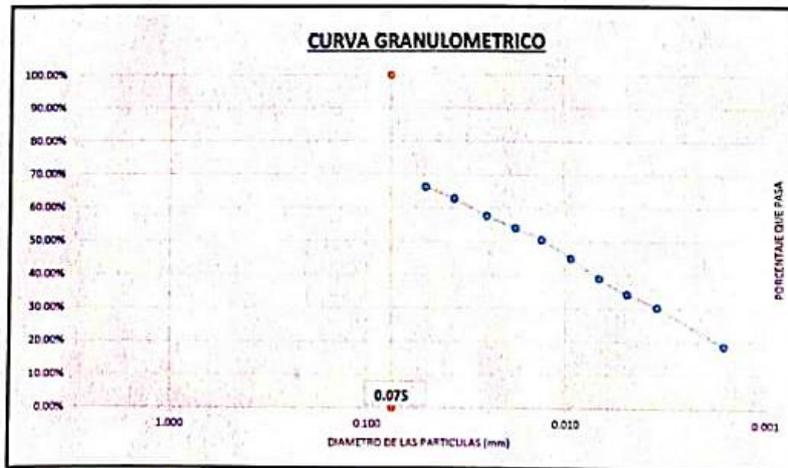
DATOS DE LA MUESTRA:  
UBICACIÓN : cantera de la muestra: Cantera Puka Orco, distrito de San Jerónimo - Cusco  
TIPO DE MUESTRA : Alterada

N° PROBETA:	01
Gs :	2.53
Factor de corrección por peso específico :	1.03
k :	
Corrección por defloculante:	8 (NaPO3)
Corrección por menisco:	0.5
h [altura del bulbo del hidrometro :	14.5 cm
Volumen del Hidrometro :	65.0 cm <sup>3</sup>
Area de la probeta :	27.0 cm <sup>2</sup>
Peso de los sólidos :	60.00 gr



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO

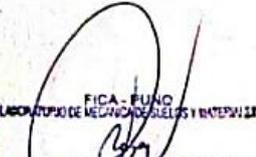
TIEMPO	TEMP	LECTURA	Lectura con corrección por menisco	Lectura con corrección por defloculante	Lectura corregida por temperatura (lectura real)	Distancia a cada lectura (h <sub>l</sub> )	Distancia de caída real de las partículas (h <sub>r</sub> )	z	Diametro de las partículas (D)	Porcentaje de suelo (P)
min	°C	gr/l	gr/l	gr/l	gr/l	cm	cm		mm	%
1	19.6	47	46.5	38.5	38.61	4.92	12.17	0.014310	0.0499	66.28%
2	19.6	45	44.5	36.5	36.61	5.24	12.49	0.014310	0.0358	62.85%
4	19.6	42	41.5	33.5	33.61	5.72	11.77	0.014310	0.0245	57.70%
8	20	40	39.5	31.5	31.51	6.06	12.11	0.014310	0.0176	54.10%
15	20.3	38	37.5	29.5	29.44	6.39	12.44	0.014310	0.0130	50.53%
30	21.2	35	34.5	26.5	26.21	6.91	12.95	0.014140	0.0093	45.00%
60	21.2	31.5	31	23	22.71	7.47	13.51	0.014140	0.0067	38.99%
120	20.1	28.5	28	20	19.99	7.90	13.95	0.014310	0.0049	34.31%
240	20.9	26	25.5	17.5	17.71	8.27	14.31	0.014140	0.0035	30.40%
1440	23.8	18.5	18	10	10.93	9.35	15.40	0.012650	0.0016	18.77%



OBSERVACIONES: El Muestreo fue realizado en presencia del solicitante.  
Datos del muestreo proporcionados por el solicitante.

  
 TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

  
 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 JEFE DE LABORATORIO

  
 TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 EPIC - UNAP

## Anexo A.2 Ensayo de análisis granulométrico del vidrio triturado



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS			
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI			
<b>ENSAYO</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO PARA AGREGADO FINO			
<b>NORMA</b>	NTP 400.012	CANTERA	---	<b>FECHA</b> 23/04/2019

Peso de la muestra seca + recipiente (grs) :	<b>855.00</b>
Peso del recipiente (grs) :	<b>355.00</b>
Peso de la muestra seca global, Ws (grs) :	<b>500.00</b>

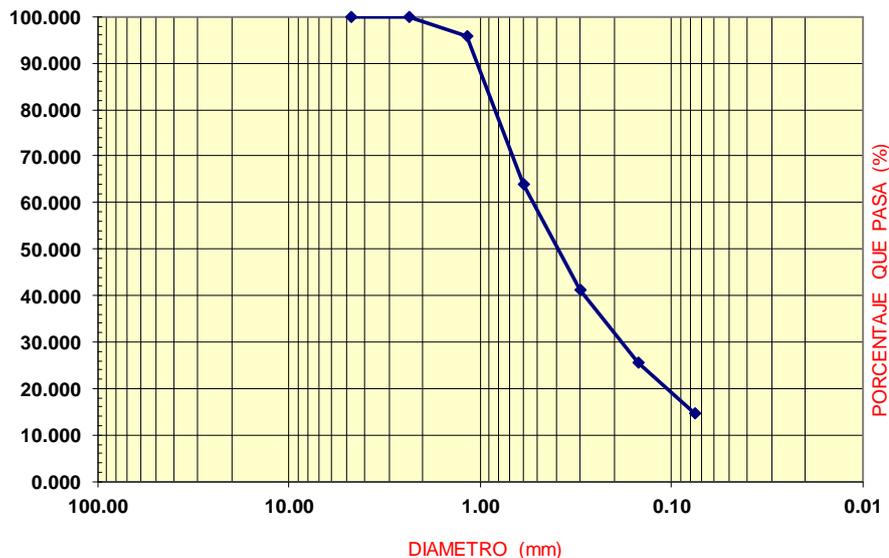
#### Análisis por Tamizado para agregado fino

NORMA ASTM					
TAMIZ N°	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUEPASA
# 4	4.750	0.000	0.000	0.000	100.000
# 8	2.360	0.000	0.000	0.000	100.000
# 16	1.180	21.380	4.276	4.276	95.724
# 30	0.600	158.220	31.644	35.920	64.080
# 50	0.300	115.000	23.000	58.920	41.080
# 100	0.150	78.000	15.600	74.520	25.480
# 200	0.075	53.430	10.686	85.206	14.794
<b>PASA # 200</b>	<b>0.075</b>	<b>73.670</b>	<b>14.734</b>	<b>99.940</b>	<b>0.060</b>
<b>TOTAL</b>		<b>499.700</b>			

Perdida:	0.300
Perdida %:	0.060

<b>D10 = 0.0414</b>	<b>D30 = 0.1935</b>	<b>D60 = 0.5468</b>
	<b>Cu = 13.222</b>	
	<b>Cc = 1.655</b>	

### CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



### Anexo A.3 Ensayo de límite de consistencia



UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



#### DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS				
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI				
<b>ENSAYO</b>	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE UN SUELO POR EL METODO DEL APARATO DE CARSAGRANDE				
	DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE UN SUELO/METODO DE ENSAYO NORMALIZADO DE CLASIFICACION DE SUELOS				
	DETERMINACION DE INDICE DE PLASTICIDAD				
<b>NORMA</b>	NTP 339.129/139	<b>CANTERA</b>	N° 01, 02 Y 03	<b>FECHA</b>	5/07/2019

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO - ENSAYO 01

Peso de la muestra seca global, Ws (grs) :	200 gr
--	--------

Nro TARA	PESO TARA	PESO TARA CON SUELO SATURADO	Nro GOLPES cuchara Casagrande	PESO TARA CON SUELO SECO	PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD %	
T-041	28.11	42.85	35	39.96	2.89	24.39	
T-046	28.98	44.87	29	41.66	3.21	25.32	
T-049	28.48	41.52	25	38.84	2.68	25.87	
T-045	28.41	47.11	19	43.19	3.92	26.52	
						<b>LL</b>	<b>25.79</b>



**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO - ENSAYO 02**

Nro TARA	PESO TARA	PESO TARA CON SUELO SATURADO	PESO TARA CON SUELO SECO	PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD %
TT-024	7.88	12.56	11.93	0.63	15.56
TT-038	7.79	15.75	14.68	1.07	15.53
TT-017	8.01	16.31	15.21	1.1	15.28
TT-006	10.97	17.73	16.825	0.905	15.46
				<b>LP</b>	<b>15.45</b>

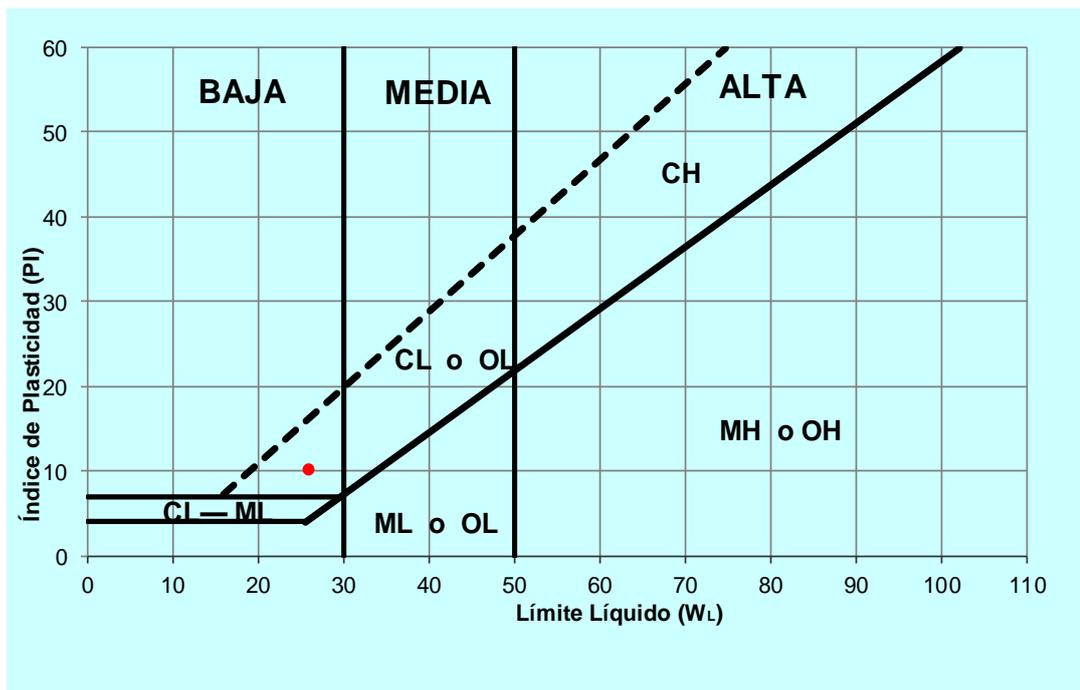
**INDICE DE PLASTICIDAD**

LIMITE LIQUIDO % (LL)	25.79
LIMITE PLASTICO % (LP)	15.45
<b>INDICE DE PLASTICIDAD % (IP)</b>	<b>10.34</b>

100

**CARTA DE PLASTICIDAD**

Límite líquido	Índice de Plasticidad	Nombre
$W_L$	PI	
25.79	10.34	Ac1-2



## Anexo A.4 Ensayo de composición química



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-01791

Fecha de emisión: 12/04/2019

Página 1 de 1

Señores: YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI  
Dirección: CALLE MARISCAL SUCRE 100 PAUCARPATA AREQUIPA  
Atención: YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI  
Recepción: 10/04/2019  
Realización: 10/04/2019  
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

- \*2043 Método de Ensayo para Manganeso por Fusión Alcalina - Absorción Atómica
- \*2049 Método de Ensayo para Magnesio fusión alcalina - Absorción Atómica
- \*2087 Método de Ensayo para Calcio por Fusión Alcalina - Absorción Atómica
- \*2089 Método de Ensayo para Potasio por Fusión Alcalina - Absorción Atómica
- \*511 Método de Ensayo para Aluminio por Fusión Alcalina - Absorción Atómica
- \*531 Método de Ensayo para Sílice por Fusión Alcalina - Gravimetría
- \*545 Método de Ensayo para Hierro por Fusión alcalina - Absorción Atómica
- \*569 Método de ensayo para sodio por digestión específica - absorción atómica
- \*582 Determinación de pérdidas de calcinación por Gravimetría (LOI)

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*2043		*2049		*2087		*2089		*511		*531	*545
				Mn %	Mn2O3 %	Mg %	MgO %	Ca %	CaO %	K %	K2O %	Al %	Al2O3 %	SiO2 %	Fe %
MN19003842	CANTERA 1	SAN JERONIMO CUSCO	Arcilla	0,253	0,364	1,52	2,52	0,86	1,21	2,48	2,99	7,742	14,627	53,78	4,94
MN19003843	CANTERA 2	SAN JERONIMO CUSCO	Arcilla	0,198	0,284	1,52	2,51	0,94	1,32	2,17	2,61	7,010	13,245	52,28	4,53
MN19003844	CANTERA 3	SAN JERONIMO CUSCO	Arena	0,213	0,306	0,77	1,27	0,70	0,98	1,40	1,69	6,777	12,805	60,58	3,36

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*545	*569	*582	
				Fe2O3 %	Na %	Na2O %	LOI %
MN19003842	CANTERA 1	SAN JERONIMO CUSCO	Arcilla	7,06	1,16	1,56	9,88
MN19003843	CANTERA 2	SAN JERONIMO CUSCO	Arcilla	6,47	1,92	2,59	9,96
MN19003844	CANTERA 3	SAN JERONIMO CUSCO	Arena	4,81	4,21	5,67	6,35

  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Ormar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

“Valor numérico” = Límite de detección del método, “<Valor Numérico” = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 10784

## **Anexo B. Ensayos a la unidad de albañilería**

### **Anexo B.1 Ensayo de variación dimensión**

DETERMINACION DE LA VARIACION DIMENSIONAL - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (mm)									ANCHO (mm)								ALTO (mm)									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	PROMEDIO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	PROMEDIO	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	PROMEDIO
DM0-1	23.500	23.600	23.700	23.750	23.800	23.650	23.700	23.700	23.675	12.050	12.000	11.920	11.910	11.900	11.950	11.880	11.850	11.933	9.020	8.970	8.850	8.980	8.780	8.890	8.850	8.900	8.905
DM0-2	23.550	23.500	23.500	23.500	23.550	23.510	23.500	23.530	23.518	11.950	11.910	12.000	11.900	11.900	11.980	11.950	11.900	11.936	8.850	8.820	8.720	8.900	8.720	8.830	8.880	8.750	8.809
DM0-3	23.650	23.700	23.500	23.600	23.620	23.700	23.620	23.650	23.630	11.980	11.880	11.950	11.950	11.900	11.930	11.900	11.880	11.921	9.020	8.970	8.900	8.900	8.820	8.830	8.850	8.800	8.886
DM0-4	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500	23.600	23.500	23.500	23.513	11.910	11.900	11.980	11.850	11.950	11.970	11.870	11.850	11.910	8.750	8.890	8.950	8.800	8.750	8.950	8.700	8.750	8.818
DM0-5	23.700	23.600	23.500	23.700	23.600	23.800	23.600	23.700	23.650	11.900	11.840	11.900	11.930	11.850	11.880	11.800	11.900	11.875	9.000	8.900	8.910	9.100	9.020	8.920	9.000	8.950	8.975
DM0-6	23.400	23.500	23.600	23.650	23.600	23.500	23.400	23.380	23.504	11.800	11.800	11.800	12.000	11.900	11.850	11.750	11.750	11.831	8.500	8.750	8.720	9.000	8.900	8.800	8.800	8.800	8.784
DM0-7	23.500	23.700	23.650	23.600	23.400	23.400	23.300	23.500	23.506	11.900	11.800	11.900	11.800	11.800	11.900	11.700	11.800	11.825	8.700	8.900	8.800	8.800	8.900	8.870	8.800	8.780	8.819
DM0-8	23.500	23.300	23.300	23.300	23.500	23.600	23.330	23.500	23.416	11.850	11.800	11.800	11.700	11.680	11.800	11.800	11.700	11.766	8.900	8.900	9.000	8.800	8.800	8.800	8.900	8.700	8.850
DM0-9	23.300	23.300	23.320	23.300	23.200	23.200	23.300	23.350	23.284	11.800	11.750	11.760	11.750	11.800	11.880	11.720	11.700	11.770	8.550	8.770	8.700	8.900	8.800	8.800	8.800	8.720	8.743
DM0-10	23.550	23.610	23.700	23.600	23.600	23.600	23.500	23.500	23.583	11.800	11.600	11.800	11.830	11.900	11.700	11.850	11.900	11.798	8.700	8.750	8.780	8.800	8.800	8.920	8.840	8.710	8.788

DETERMINACION DE LA VARIACION DIMENSIONAL - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (mm)									ANCHO (mm)								ALTO (mm)									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	PROMEDIO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	PROMEDIO	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	PROMEDIO
DM15-1	23.850	23.750	23.750	23.700	23.800	23.800	23.800	23.750	23.756	12.000	12.050	12.050	12.100	12.050	12.100	12.050	12.100	12.063	8.880	8.890	8.920	8.910	8.980	8.920	8.980	9.020	8.938
DM15-2	23.900	23.700	23.750	23.900	23.700	23.780	23.810	23.770	23.789	12.030	12.000	12.030	12.000	12.000	11.980	12.000	11.950	11.999	8.900	9.030	8.950	8.900	8.880	8.790	8.950	8.950	8.919
DM15-3	23.650	23.700	23.700	23.800	23.700	23.700	23.710	23.710	23.709	11.960	11.970	12.010	12.010	12.020	12.100	12.030	12.000	12.013	8.810	8.870	8.950	8.900	8.870	9.010	8.950	8.930	8.918
DM15-4	23.600	23.700	23.720	23.700	23.800	23.800	23.730	23.720	23.721	12.080	11.950	11.900	12.000	11.930	11.950	11.980	11.980	11.971	8.800	8.880	8.900	9.000	9.000	9.050	8.910	8.870	8.926
DM15-5	23.500	23.600	23.550	23.700	23.800	23.600	23.600	23.600	23.619	12.000	11.970	12.000	11.950	11.900	11.950	11.980	11.950	11.963	9.000	9.070	9.000	8.820	8.850	8.870	8.920	8.950	8.935
DM15-6	23.700	23.700	23.500	23.600	23.500	23.500	23.600	23.500	23.575	11.946	11.932	11.997	11.923	11.884	11.958	11.955	11.921	11.940	9.026	9.091	9.275	8.976	8.877	8.842	9.150	8.936	9.022
DM15-7	23.800	23.700	23.700	23.800	23.700	23.750	23.700	23.650	23.725	12.053	12.020	12.023	12.010	11.987	12.010	12.050	11.961	12.014	8.970	8.947	8.861	8.867	8.868	8.926	8.908	9.126	8.934
DM15-8	23.900	23.900	23.700	23.900	23.700	23.700	23.650	23.700	23.769	12.040	11.920	11.950	12.060	12.000	12.000	12.030	12.000	12.000	8.960	9.000	9.110	9.020	8.940	8.850	9.170	8.970	9.003
DM15-9	23.850	23.700	23.750	23.800	23.780	23.900	23.800	23.700	23.785	11.800	11.965	11.936	11.937	11.895	11.967	11.957	11.995	11.944	8.880	8.810	8.750	8.880	8.910	8.950	9.120	8.900	8.900
DM15-10	23.500	23.620	23.610	23.620	23.600	23.650	23.580	23.600	23.598	11.970	11.850	11.910	12.020	11.930	11.980	11.930	11.920	11.939	8.860	8.820	8.780	8.910	9.000	9.110	8.800	9.100	8.923

DETERMINACION DE LA VARIACION DIMENSIONAL - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (mm)									ANCHO (mm)								ALTO (mm)									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	PROMEDIO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	PROMEDIO	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	PROMEDIO
DM20-1	23.620	23.650	23.650	23.600	23.500	23.500	23.950	23.900	23.671	12.050	12.030	12.010	11.870	12.000	12.100	11.950	12.000	12.001	9.000	8.920	8.990	8.860	8.930	8.820	8.920	8.970	8.926
DM20-2	23.900	23.900	23.900	23.800	23.820	23.700	23.750	23.700	23.809	12.050	12.040	11.950	12.020	11.950	12.050	11.980	12.000	12.005	9.080	9.080	9.000	8.870	8.930	9.000	8.910	9.120	8.999
DM20-3	23.850	23.900	23.900	23.800	23.700	23.700	23.900	23.700	23.806	12.020	11.950	12.000	12.080	12.000	12.030	11.970	12.000	12.006	8.900	8.820	8.750	8.800	8.900	8.950	8.800	9.030	8.869
DM20-4	23.600	23.600	23.500	23.520	23.620	23.510	23.550	23.620	23.565	12.000	12.050	12.030	11.950	11.950	12.100	11.980	12.030	12.011	8.770	8.800	8.950	8.870	8.720	8.850	8.930	8.800	8.836
DM20-5	23.900	23.900	23.900	23.800	23.800	23.900	23.850	23.900	23.869	11.960	11.950	12.020	12.000	12.050	12.050	11.990	12.020	12.005	9.000	8.980	8.950	8.750	8.800	8.820	8.930	8.870	8.888
DM20-6	23.750	23.780	23.700	23.700	23.800	23.500	23.700	23.700	23.704	12.080	11.920	12.000	12.100	11.940	12.000	12.080	11.960	12.010	8.900	8.870	8.780	9.100	9.110	9.130	8.800	8.900	8.949
DM20-7	23.800	23.800	23.700	23.800	23.710	23.730	23.630	23.700	23.734	12.000	12.020	12.020	12.070	11.920	11.970	11.950	12.000	11.994	8.820	8.900	8.950	9.200	9.100	9.040	9.200	8.830	9.005
DM20-8	23.500	23.530	23.900	23.500	23.600	23.600	23.400	23.400	23.554	11.850	11.860	11.900	11.900	11.900	11.850	11.850	11.850	11.870	8.810	8.850	8.800	8.800	8.840	9.000	9.000	8.900	8.875
DM20-9	23.700	23.600	23.600	23.700	23.600	23.600	23.500	23.600	23.613	12.020	11.900	11.910	11.900	11.860	11.950	12.000	11.900	11.930	8.910	8.800	8.780	8.860	8.870	8.900	8.780	8.900	8.850
DM20-10	23.800	23.900	23.800	23.900	23.900	23.920	23.800	23.750	23.846	12.080	12.070	12.030	12.040	11.970	11.950	12.000	12.040	12.023	8.980	9.000	8.900	9.050	9.050	9.100	8.970	8.920	8.996

DETERMINACION DE LA VARIACION DIMENSIONAL - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (mm)									ANCHO (mm)								ALTO (mm)									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	PROMEDIO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	PROMEDIO	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	PROMEDIO
DM30-1	23.700	23.700	23.600	23.850	23.800	23.700	23.750	23.700	23.725	12.000	11.980	12.050	11.950	11.900	12.000	12.020	11.950	11.981	8.910	8.900	8.800	8.850	8.950	8.850	8.910	8.850	8.878
DM30-2	23.900	24.000	23.900	24.000	23.900	23.900	23.920	23.950	23.934	12.100	12.050	12.100	12.110	12.020	12.100	12.080	12.100	12.083	8.900	9.000	9.000	8.970	9.000	9.070	9.000	9.000	8.993
DM30-3	23.700	23.610	23.610	23.800	23.750	23.700	23.700	23.650	23.690	11.980	11.980	11.950	12.080	12.050	11.900	12.050	11.950	11.993	9.050	8.950	8.900	9.250	9.200	9.100	9.000	8.900	9.044
DM30-4	23.930	23.900	23.880	24.000	23.900	23.800	23.850	23.700	23.870	12.000	12.000	12.050	12.000	12.020	12.070	12.040	12.040	12.028	8.900	8.910	9.020	8.950	8.850	8.750	8.980	8.750	8.889
DM30-5	23.800	23.800	24.000	23.800	23.900	23.800	23.800	23.900	23.850	12.080	12.000	12.030	12.050	12.000	12.100	12.050	12.030	12.043	8.900	8.900	9.030	9.150	9.000	9.080	9.020	9.000	9.010
DM30-6	23.600	23.600	23.600	23.600	23.580	23.500	23.600	23.450	23.566	11.900	11.850	11.870	11.900	11.890	11.900	11.910	11.800	11.878	8.850	8.920	8.830	8.800	8.850	8.900	8.900	8.950	8.875
DM30-7	23.820	23.800	23.800	23.900	23.700	23.																					

## Anexo B.2 Ensayo de alabeo

### ALABEO

#### DETERMINACION DEL ALABEO - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO

ESPECIMEN	CONCAVIDAD					CONVEXIDAD				
	Cara superior		Cara inferior		Prom.	Cara superior		Cara inferior		Prom.
	(mm)					(mm)				
DM0-1	2.00	1.00	0.50	0.00	<b>0.88</b>	0.00	0.00	0.00	0.50	<b>0.13</b>
DM0-2	1.20	0.50	1.00	0.80	<b>0.88</b>	0.00	0.40	0.00	0.00	<b>0.10</b>
DM0-3	0.50	1.00	1.00	1.00	<b>0.88</b>	0.00	0.00	0.00	0.50	<b>0.13</b>
DM0-4	1.00	1.50	1.70	1.50	<b>1.43</b>	2.70	3.40	0.00	0.00	<b>1.53</b>
DM0-5	1.00	1.00	0.50	1.10	<b>0.90</b>	0.00	0.00	0.30	0.75	<b>0.26</b>
DM0-6	1.00	0.80	1.20	1.10	<b>1.03</b>	0.00	0.00	0.00	1.50	<b>0.38</b>
DM0-7	1.50	1.30	1.00	1.30	<b>1.28</b>	0.00	0.00	0.00	2.00	<b>0.50</b>
DM0-8	0.80	1.50	1.00	1.00	<b>1.08</b>	0.80	1.00	0.00	0.00	<b>0.45</b>
DM0-9	1.50	1.50	0.00	0.00	<b>0.75</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
DM0-10	0.70	1.00	2.00	1.75	<b>1.36</b>	0.00	0.70	0.70	1.00	<b>0.60</b>
PROMEDIO	C6ncavo		<b>1.044</b> mm							
	Convexo		<b>0.40625</b> mm							

#### DETERMINACION DEL ALABEO - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO

ESPECIMEN	CONCAVIDAD					CONVEXIDAD				
	Cara superior		Cara inferior		Prom.	Cara superior		Cara inferior		Prom.
	(mm)					(mm)				
DM15-1	1.00	0.80	0.50	0.70	<b>0.75</b>	0.00	0.00	0.80	0.70	<b>0.38</b>
DM15-2	2.00	1.00	0.90	0.60	<b>1.13</b>	0.80	1.00	0.00	0.00	<b>0.45</b>
DM15-3	1.00	0.75	0.70	0.00	<b>0.61</b>	0.00	0.00	0.50	0.90	<b>0.35</b>
DM15-4	1.80	1.30	0.80	1.00	<b>1.23</b>	0.00	0.00	0.80	1.00	<b>0.45</b>
DM15-5	1.40	1.00	0.60	0.70	<b>0.93</b>	0.00	0.00	1.00	0.70	<b>0.43</b>
DM15-6	1.50	1.40	1.50	0.80	<b>1.30</b>	0.00	0.50	0.50	0.80	<b>0.45</b>
DM15-7	0.80	1.00	0.50	0.75	<b>0.76</b>	0.70	0.80	0.00	0.00	<b>0.38</b>
DM15-8	0.80	0.60	0.70	0.20	<b>0.58</b>	0.70	0.50	0.00	0.00	<b>0.30</b>
DM15-9	0.00	0.00	0.40	0.55	<b>0.24</b>	0.50	0.00	0.40	0.00	<b>0.23</b>
DM15-10	1.50	1.40	1.50	1.30	<b>1.43</b>	0.90	1.00	0.00	0.00	<b>0.48</b>
PROMEDIO	C6ncavo		<b>0.894</b> mm							
	Convexo		<b>0.388</b> mm							

#### DETERMINACION DEL ALABEO - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO

ESPECIMEN	CONCAVIDAD					CONVEXIDAD				
	Cara superior		Cara inferior		Prom.	Cara superior		Cara inferior		Prom.
	(mm)					(mm)				
DM0-1	0.00	0.00	0.50	1.00	<b>0.38</b>	0.00	0.50	0.00	0.00	<b>0.13</b>
DM0-2	1.00	0.50	1.70	1.30	<b>1.13</b>	1.20	0.80	0.00	0.50	<b>0.63</b>
DM0-3	1.00	0.80	0.30	0.50	<b>0.65</b>	1.00	0.60	0.00	0.00	<b>0.40</b>
DM0-4	0.00	0.00	1.00	1.00	<b>0.50</b>	0.00	0.00	0.50	0.00	<b>0.13</b>
DM0-5	1.20	1.00	0.50	0.40	<b>0.78</b>	0.00	0.00	1.00	0.80	<b>0.45</b>
DM0-6	0.70	0.30	1.30	1.50	<b>0.95</b>	0.20	0.00	0.90	1.00	<b>0.53</b>
DM0-7	2.30	0.50	1.50	0.70	<b>1.25</b>	0.50	0.00	1.00	1.00	<b>0.63</b>
DM0-8	0.00	0.00	1.00	0.75	<b>0.44</b>	0.00	0.00	0.00	0.50	<b>0.13</b>
DM0-9	1.30	1.70	1.00	1.30	<b>1.33</b>	1.00	1.60	0.50	0.00	<b>0.78</b>
DM0-10	0.50	0.90	0.00	1.00	<b>0.60</b>	0.00	0.00	0.00	0.80	<b>0.20</b>
PROMEDIO	C6ncavo		<b>0.799</b> mm							
	Convexo		<b>0.398</b> mm							

#### DETERMINACION DEL ALABEO - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO

ESPECIMEN	CONCAVIDAD					CONVEXIDAD				
	Cara superior		Cara inferior		Prom.	Cara superior		Cara inferior		Prom.
	(mm)					(mm)				
DM0-1	2.00	1.00	0.50	0.00	<b>0.88</b>	0.00	0.00	0.00	2.00	<b>0.50</b>
DM0-2	0.90	0.50	1.00	0.80	<b>0.80</b>	0.50	0.40	1.00	0.00	<b>0.48</b>
DM0-3	0.50	1.00	1.00	1.00	<b>0.88</b>	0.80	1.00	0.50	0.00	<b>0.58</b>
DM0-4	1.00	1.10	0.80	0.90	<b>0.95</b>	0.00	0.00	1.00	1.50	<b>0.63</b>
DM0-5	1.00	1.00	0.50	0.90	<b>0.85</b>	0.00	1.10	0.00	0.00	<b>0.28</b>
DM0-6	0.00	0.00	1.00	0.90	<b>0.48</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
DM0-7	0.80	0.90	1.00	0.70	<b>0.85</b>	0.00	0.00	0.00	1.50	<b>0.38</b>
DM0-8	0.70	1.20	0.40	0.60	<b>0.73</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
DM0-9	0.90	1.00	0.80	0.80	<b>0.88</b>	0.50	0.00	0.00	0.00	<b>0.13</b>
DM0-10	0.80	0.75	0.50	0.30	<b>0.59</b>	0.00	0.50	0.00	0.50	<b>0.25</b>
PROMEDIO	C6ncavo		<b>0.786</b> mm							
	Convexo		<b>0.320</b> mm							

## Anexo B.3 Ensayo de porcentaje de vacíos



UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



### PORCENTAJE DE VACIOS

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS				
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI				
<b>ENSAYO</b>	PORCENTAJE DE VACIOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA				
<b>NORMA</b>	NTP 399.613	<b>CANTERA</b>	-----	<b>FECHA</b>	9/09/2019

DENSIDAD REL DE LA ARENA:

1.381942891 g/cm<sup>3</sup>

#### DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	VOLUMEN TOTAL (cm <sup>3</sup> )	PESO DE ARENA EN LOS ALVEOLOS (gr)	VOLUMEN DE LOS ALVEOLOS (cm <sup>3</sup> )	% DE VACIOS
DM0-1	23.338	11.823	8.830	2436.264	1249.000	903.800	37.098
DM0-2	23.505	11.815	8.854	2458.789	1260.000	911.760	37.082
DM0-3	23.465	11.831	8.818	2447.917	1249.000	903.800	36.921
DM0-4	23.625	11.915	8.910	2508.093	1285.000	929.850	37.074
DM0-5	23.593	11.931	8.845	2489.761	1273.000	921.167	36.998
DM0-6	23.583	11.901	8.905	2499.288	1279.000	925.509	37.031
DM0-7	23.515	11.849	8.891	2477.310	1270.000	918.996	37.097
DM0-8	23.546	11.933	8.808	2474.605	1263.000	913.931	36.932
DM0-9	23.629	11.939	8.900	2510.670	1281.000	926.956	36.921
DM0-10	23.525	11.898	8.845	2475.615	1269.000	918.272	37.093
<b>PROMEDIO</b>							<b>37.025</b>

#### DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	VOLUMEN TOTAL (cm <sup>3</sup> )	PESO DE ARENA EN LOS ALVEOLOS (gr)	VOLUMEN DE LOS ALVEOLOS (cm <sup>3</sup> )	% DE VACIOS
DM15-1	23.690	11.951	8.949	2533.616	1294.000	936.363	36.958
DM15-2	23.678	12.001	8.988	2553.884	1308.000	946.494	37.061
DM15-3	23.666	11.958	8.916	2523.202	1289.000	932.745	36.967
DM15-4	23.638	11.981	8.930	2529.037	1293.000	935.639	36.996
DM15-5	23.656	11.978	8.868	2512.542	1288.000	932.021	37.095
DM15-6	23.791	12.013	8.969	2563.201	1310.000	947.941	36.983
DM15-7	23.709	11.998	8.965	2550.056	1294.000	936.363	36.719
DM15-8	23.576	11.906	8.850	2484.237	1268.000	917.549	36.935
DM15-9	23.716	11.969	8.949	2540.137	1299.000	939.981	37.005
DM15-10	23.608	11.966	8.933	2523.371	1294.000	936.363	37.108
<b>PROMEDIO</b>							<b>36.983</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**PORCENTAJE DE VACIOS**

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO				
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI				
<b>ENSAYO</b>	PORCENTAJE DE VACIOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA				
<b>NORMA</b>	NTP 399.613	<b>CANTERA</b>	-----	<b>FECHA</b>	9/09/2019

DENSIDAD REL DE LA ARENA:

1.381942891 g/cm<sup>3</sup>

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	VOLUMEN TOTAL (cm <sup>3</sup> )	PESO DE ARENA EN LOS ALVEOLOS (gr)	VOLUMEN DE LOS ALVEOLOS (cm <sup>3</sup> )	% DE VACIOS
DM20-1	23.671	11.871	8.821	2478.836	1269.000	918.272	37.045
DM20-2	23.809	12.041	8.989	2576.959	1322.000	956.624	37.122
DM20-3	23.806	12.003	8.869	2534.108	1299.000	939.981	37.093
DM20-4	23.524	11.909	8.836	2475.373	1264.000	914.654	36.950
DM20-5	23.750	11.993	8.961	2552.360	1306.000	945.046	37.026
DM20-6	23.609	11.894	8.833	2480.136	1267.000	916.825	36.967
DM20-7	23.593	11.920	8.853	2489.523	1270.000	918.996	36.915
DM20-8	23.866	11.989	8.884	2541.876	1300.000	940.705	37.008
DM20-9	23.615	11.906	8.826	2481.642	1267.000	916.825	36.944
DM20-10	23.824	11.998	8.999	2572.072	1317.000	953.006	37.052
<b>PROMEDIO</b>							<b>37.012</b>

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VACIOS - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	VOLUMEN TOTAL (cm <sup>3</sup> )	PESO DE ARENA EN LOS ALVEOLOS (gr)	VOLUMEN DE LOS ALVEOLOS (cm <sup>3</sup> )	% DE VACIOS
DM30-1	23.794	12.073	9.006	2587.046	1320.000	955.177	36.922
DM30-2	23.690	11.999	9.044	2570.689	1309.000	947.217	36.847
DM30-3	23.870	12.028	8.874	2547.622	1299.000	939.981	36.896
DM30-4	23.754	12.064	9.039	2590.138	1318.000	953.730	36.822
DM30-5	23.821	12.085	9.036	2601.354	1322.000	956.624	36.774
DM30-6	23.725	11.973	8.865	2518.082	1316.000	952.282	37.818
DM30-7	23.930	12.070	9.015	2603.848	1329.000	961.690	36.933
DM30-8	23.834	12.083	9.033	2601.101	1327.000	960.242	36.917
DM30-9	23.865	12.049	9.011	2591.126	1322.000	956.624	36.919
DM30-10	23.823	12.046	8.969	2573.778	1306.000	945.046	36.718
<b>PROMEDIO</b>							<b>36.957</b>

## Anexo B.4 Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de succión



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



### ABSORCION

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS		
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI		
<b>ENSAYO</b>	ABSORCION Y ABSORCION MAXIMA		
<b>NORMA</b>	NTP 399.613 / 331.018	<b>CANTERA</b>	-----

#### DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO

ESPECIMEN	PESO		ABSORCION %
	SECO (gr)	SATURADO Psat (gr)	
DM0-1	2974	3357	12.878
DM0-2	2975	3362	13.008
DM0-3	2933	3306	12.717
DM0-4	2971	3357	12.992
DM0-5	2977	3365	13.033
	<b>PROMEDIO</b>		<b>12.926</b>

#### DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO

ESPECIMEN	PESO		ABSORCION %
	SECO (gr)	SATURADO Psat (gr)	
DM15-1	3008	3392	12.766
DM15-2	3011	3391	12.620
DM15-3	3005	3395	12.978
DM15-4	2997	3379	12.746
DM15-5	3007	3388	12.670
	<b>PROMEDIO</b>		<b>12.756</b>

#### DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO

ESPECIMEN	PESO		ABSORCION %
	SECO (gr)	SATURADO Psat (gr)	
DM20-1	3044	3412	12.089
DM20-2	3019	3385	12.123
DM20-3	3017	3384	12.164
DM20-4	3011	3378	12.189
DM20-5	3014	3377	12.044
	<b>PROMEDIO</b>		<b>12.122</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**ABSORCION Y ABSORCION MAXIMA**

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO		
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI		
<b>ENSAYO</b>	ABSORCION Y ABSORCION MAXIMA		
<b>NORMA</b>	NTP 399.613 / 331.018	<b>CANTERA</b>	-----

**DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO		SATURADO Psat (gr)	ABSORCION %
	SECO (gr)	Ps		
DM30-1		3055	3396	11.162
DM30-2		3050	3414	11.934
DM30-3		3056	3421	11.944
DM30-4		3048	3405	11.713
DM30-5		2968	3324	11.995
			<b>PROMEDIO</b>	<b>11.749</b>

**ABSORCIÓN MAXIMA**

**DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN MAXIMA - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO		EBULLICION Psat ebullicion (gr)	ABSORCION %
	SECO (gr)	Ps		
DM0-1		2968	3419	15.195
DM0-2		2973	3425	15.203
DM0-3		2978	3431	15.212
DM0-4		2944	3392	15.217
DM0-5		2972	3424	15.209
			<b>PROMEDIO</b>	<b>15.207</b>

**DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN MAXIMA - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO		EBULLICION Psat ebullicion (gr)	ABSORCION %
	SECO (gr)	Ps		
DM15-1		2988	3444	15.261
DM15-2		3005	3464	15.275
DM15-3		3001	3459	15.262
DM15-4		3006	3465	15.269
DM15-5		3002	3460	15.256
			<b>PROMEDIO</b>	<b>15.265</b>





**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**ABSORCION Y ABSORCION MAXIMA**

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO		
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI		
<b>ENSAYO</b>	ABSORCION Y ABSORCION MAXIMA		
<b>NORMA</b>	NTP 399.613 / 331.018	<b>CANTERA</b>	-----

**DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN MÁXIMA - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO		ABSORCION %
	SECO (gr)	EBULLICION Psat ebullicion (gr)	
DM20-1	3016	3478	15.318
DM20-2	3009	3470	15.321
DM20-3	3017	3479	15.313
DM20-4	3019	3481	15.303
DM20-5	3023	3486	15.316
		<b>PROMEDIO</b>	<b>15.314</b>

**DETERMINACION DE LA ABSORCIÓN MÁXIMA - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO		ABSORCION %
	SECO (gr)	EBULLICION Psat ebullicion (gr)	
DM30-1	3061	3532	15.387
DM30-2	3060	3531	15.392
DM30-3	3055	3525	15.385
DM30-4	3065	3536	15.367
DM30-5	3081	3555	15.385
		<b>PROMEDIO</b>	<b>15.383</b>

**COEFICIENTE DE SATURACION**

LADRILLOS	ABSORCION %	ABSORCION MAXIMA %	COEFICIENTE DE SATURACION
DM0	12.926	15.207	0.8500
DM15	12.756	15.265	0.8357
DM20	12.122	15.314	0.7915
DM30	11.749	15.383	0.7638

## **Anexo B.5 Ensayo de densidad**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**DENSIDAD**

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS		
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI		
<b>ENSAYO</b>	DENSIDAD EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA		
<b>NORMA</b>	NTP 331.018	<b>CANTERA</b>	-----

**DETERMINACION DE LA DENSIDAD - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO			DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
	SECO Ps (gr)	SATURADO Psat (gr)	SUMERGIDO Psum (gr)	
DM0-1	2973	3265	1745	1.956
DM0-2	2963	3321	1804	1.953
DM0-3	2972	3194	1676	1.958
DM0-4	2975	3280	1751	1.946
DM0-5	2968	3335	1814	1.951
<b>PROMEDIO</b>				1.953

**DETERMINACION DE LA DENSIDAD - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO			DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
	SECO Ps (gr)	SATURADO Psat (gr)	SUMERGIDO Psum (gr)	
DM15-1	3001	3315	1786	1.963
DM15-2	3018	3349	1812	1.964
DM15-3	3004	3402	1869	1.960
DM15-4	3010	3392	1846	1.947
DM15-5	3007	3367	1830	1.956
<b>PROMEDIO</b>				1.958

**DETERMINACION DE LA DENSIDAD - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO			DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
	SECO Ps (gr)	SATURADO Psat (gr)	SUMERGIDO Psum (gr)	
DM20-1	3014	3301	1778	1.979
DM20-2	3059	3404	1861	1.983
DM20-3	3017	3449	1923	1.977
DM20-4	3022	3270	1742	1.978
DM20-5	3018	3442	1918	1.980
<b>PROMEDIO</b>				1.979



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**DENSIDAD**

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS		
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI		
<b>ENSAYO</b>	DENSIDAD EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA		
<b>NORMA</b>	NTP 331.018	<b>CANTERA</b>	-----

**DETERMINACION DE LA DENSIDAD - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO**

ESPECIMEN	PESO			DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
	SECO Ps (gr)	SATURADO Psat (gr)	SUMERGIDO Psum (gr)	
DM30-1	3057	3285	1745	1.985
DM30-2	2973	3295	1795	1.982
DM30-3	3054	3379	1842	1.987
DM30-4	3061	3330	1792	1.990
DM30-5	3059	3300	1754	1.979
			<b>PROMEDIO</b>	1.985

## Anexo B.6 Ensayo de succión



UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



### SUCCION

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS UTILIZANDO VIDRIO RECICLADO PARA ZONAS ALTOANDINAS			
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI			
<b>ENSAYO</b>	SUCCION EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA			
<b>NORMA</b>	NTP 331.018	<b>CANTERA</b>	-----	

#### DETERMINACION DE LA SUCION - LADRILLO CON 0% DE VIDRIO

DESCRIPCION	ESPECIMEN				
	DM0-1	DM0-2	DM0-3	DM0-4	DM0-5
Peso del ladrillo seco Ps (gr)	2974.00	2975.00	2973.00	2965.00	2968.00
Peso del ladrillo mojado Ph (gr)	3012.00	3012.00	3010.00	3002.00	3007.00
Largo (cm)	23.50	23.51	23.42	23.28	23.58
Ancho (cm)	11.83	11.83	11.77	11.77	11.80
Area bruta (cm <sup>2</sup> )	278.08	277.96	275.51	274.05	278.23
Diametro de albeolos (cm)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Area perforada (cm <sup>2</sup> )	88.36	88.36	88.36	88.36	88.36
Area neta (cm <sup>2</sup> )	189.72	189.60	187.16	185.70	189.87
Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	40.06	39.03	39.54	39.85	41.08
Succión promedio	39.91				

#### DETERMINACION DE LA SUCION - LADRILLO CON 15% DE VIDRIO

DESCRIPCION	ESPECIMEN				
	DM15-1	DM15-2	DM15-3	DM15-4	DM15-5
Peso del ladrillo seco Ps (gr)	3004.00	3011.00	3002.00	3003.00	2998.00
Peso del ladrillo mojado Ph (gr)	3039.00	3050.00	3037.00	3038.00	3033.00
Largo (cm)	23.58	23.73	23.77	23.79	23.60
Ancho (cm)	11.94	12.01	12.00	11.94	11.94
Area bruta (cm <sup>2</sup> )	281.49	285.03	285.23	284.09	281.74
Diametro de albeolos (cm)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Area perforada (cm <sup>2</sup> )	88.36	88.36	88.36	88.36	88.36
Area neta (cm <sup>2</sup> )	193.13	196.67	196.87	195.73	193.38
Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	36.25	39.66	35.56	35.76	36.20
Succión promedio	36.68				



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**SUCCION**

*Una Institución Adventista*

<b>PROYECTO</b>	DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS			
<b>SOLICITANTE</b>	BACH. YENIFER LISBETH HUACHACA CUTI			
<b>ENSAYO</b>	SUCCION EN UNIDADES DE ALBAÑILERIA			
<b>NORMA</b>	NTP 331.018	<b>CANTERA</b>	-----	

**DETERMINACION DE LA SUCION - LADRILLO CON 20% DE VIDRIO**

DESCRIPCION	ESPECIMEN				
	DM20-1	DM20-2	DM20-3	DM20-4	DM20-5
Peso del ladrillo seco Ps (gr)	3015.00	3021.00	3017.00	3019.00	3074.00
Peso del ladrillo mojado Ph (gr)	3051.00	3057.00	3052.00	3053.00	3109.00
Largo (cm)	23.70	23.73	23.55	23.61	23.85
Ancho (cm)	12.01	11.99	11.87	11.93	12.02
Area bruta (cm <sup>2</sup> )	284.69	284.67	279.59	281.70	286.70
Diametro de albeolos (cm)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Area perforada (cm <sup>2</sup> )	88.36	88.36	88.36	88.36	88.36
Area neta (cm <sup>2</sup> )	196.33	196.31	191.23	193.35	198.34
Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	36.67	36.68	36.61	35.17	35.29
Succión promedio	36.08				

**DETERMINACION DE LA SUCION - LADRILLO CON 30% DE VIDRIO**

DESCRIPCION	ESPECIMEN				
	DM30-1	DM30-2	DM30-3	DM30-4	DM30-5
Peso del ladrillo seco Ps (gr)	3025.00	2973.00	3086.00	3021.00	3044.00
Peso del ladrillo mojado Ph (gr)	3054.00	3004.00	3121.00	3052.00	3074.00
Largo (cm)	23.57	23.73	23.96	23.66	23.80
Ancho (cm)	11.88	11.96	12.07	12.01	12.02
Area bruta (cm <sup>2</sup> )	279.92	283.76	289.26	284.28	286.08
Diametro de albeolos (cm)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Area perforada (cm <sup>2</sup> )	88.36	88.36	88.36	88.36	88.36
Area neta (cm <sup>2</sup> )	191.56	195.41	200.90	195.92	197.72
Succión (gr/(200cm <sup>2</sup> -min))	30.28	31.73	34.84	31.65	30.35
Succión promedio	31.77				

## **Anexo B.7 Ensayo de conductividad térmica**



CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

PROYECTO	Determinación de la conductividad térmica de ladrillos utilizando vidrio reciclado para zonas altoandinas		
MATERIAL	Ladrillo de arcilla	DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA MUESTRA	
FECHA DEL ENSAYO	07 al 14 de noviembre	Unidad de albañilería	
TÍTULO DE LA NORMA O PROCEDIMIENTO DE ENSAYO			NORMAS
Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus			ASTM C177-13

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

DESCRIPCION	LADRILLO TRADICIONAL			
	DM0-1	DM0-2	DM0-3	DM0-4
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.24
Ancho (m)	0.12	0.1195	0.12	0.119
Espesor (m)	0.09	0.089	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30
Temperatura placa fría (°C)	54	57.4	63	64
Temperatura placa fría (°K=°C+273.15)	327.15	330.55	336.15	337.15
Temperatura placa caliente (°C)	375	375	379	379
Temperatura placa caliente (°K=°C+273.15)	648.15	648.15	652.15	652.15
Coef. de conductividad térmica (W/m.*K)	0.5192108	0.52845428	0.52742616	0.52469136
PROMEDIO (W/m.*k)	0.5249			

DESCRIPCION	LADRILLO CON 15 % VIDRIO			
	DM15-1	DM15-2	DM15-3	DM15-4
Largo (m)	0.240	0.240	0.240	0.240
Ancho (m)	0.119	0.119	0.120	0.120
Espesor (m)	0.088	0.090	0.090	0.090
Potencia (watts)	30	30	30	30
Temperatura placa fría (°C)	55	56.4	56.8	58.1
Temperatura placa fría (°K=°C+273.15)	328.15	329.55	329.95	331.25
Temperatura placa caliente (°C)	370	370	372	372
Temperatura placa caliente (°K=°C+273.15)	643.15	643.15	645.15	645.15
Coef. de conductividad térmica (W/m.*K)	0.53661616	0.52703373	0.5317188	0.53392088
PROMEDIO (W/m.*k)	0.5323			

DESCRIPCION	LADRILLO CON 20 % VIDRIO			
	DM20-1	DM20-2	DM20-3	DM20-4
Largo (m)	0.240	0.240	0.240	0.240
Ancho (m)	0.120	0.118	0.120	0.120
Espesor (m)	0.090	0.085	0.091	0.090
Potencia (watts)	30	30	30	30
Temperatura placa fría (°C)	47.7	51.5	48.3	52.2
Temperatura placa fría (°K=°C+273.15)	320.85	324.65	321.45	325.35
Temperatura placa caliente (°C)	363	363	364	364
Temperatura placa caliente (°K=°C+273.15)	636.15	636.15	637.15	637.15
Coef. de conductividad térmica (W/m.*K)	0.5285971	0.55707676	0.51995043	0.53453068
PROMEDIO (W/m.*k)	0.5350			



Una Institución Avanzada

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

PROYECTO	Determinación de la conductividad térmica de ladrillos utilizando vidrio reciclado para zonas altoandinas		
MATERIAL	Ladrillo de arcilla	DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA MUESTRA	
FECHA DEL ENSAYO	07 al 14 de noviembre	Unidad de albañilería	
TÍTULO DE LA NORMA O PROCEDIMIENTO DE ENSAYO			NORMAS
Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus			ASTM C177-13

DESCRIPCION	LADRILLO CON 30 % VIDRIO			
	DM30-1	DM30-2	DM30-3	DM30-4
Largo (m)	0.240	0.240	0.240	0.240
Ancho (m)	0.119	0.120	0.119	0.119
Espesor (m)	0.090	0.090	0.090	0.090
Potencia (watts)	30	30	30	30
Temperatura placa fría (°C)	56.1	58.1	56.1	58
Temperatura placa fría (°K=°C+273.15)	329.25	331.25	329.25	331.15
Temperatura placa caliente (°C)	352	352	351	351
Temperatura placa caliente (°K=°C+273.15)	625.15	625.15	624.15	624.15
Coef. de conductividad térmica (W/m.°K)	0.55932002	0.56708631	0.56045364	0.56723931
PROMEDIO (W/m.°k)	0.5635			

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS - INGENIERIA CIVIL  
 Manuel Cesopino Jara