



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

**EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA,  
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL LADRILLO  
KING-KONG 18 HUECOS ADICIONADO CON  
PUZOLANA DE LA CANTERA RAQCHI EN DIFERENTES  
PORCENTAJES, CON RESPECTO A UN LADRILLO  
TRADICIONAL**

---

Presentado por los Bachilleres:

**RICHARD CAMINO QUISPE**

**RONALD CAMINO QUISPE**

Para Optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Asesor:

**ING. EDSON JULIO SALAS FORTÓN**

CUSCO – PERÚ

2017



## DEDICATORIA

- A nuestros padres, por su sacrificio constante y la enorme fortaleza que nos brindan.
- A nuestros hermanos por la confianza que han depositado en nosotros.
- A todos nuestros parientes y amigos por el apoyo anímico que nos brindan.



## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Andina del Cusco, por la enseñanza que nos brindó durante nuestra formación profesional.
- A nuestros docentes de la Universidad Andina del Cusco, por compartir sus conocimientos con nosotros.
- A nuestro asesor de tesis Ing. Edson Julio Salas Fortón, por su atención y paciencia por el asesoramiento de la presente tesis.
- A nuestros docentes, Ing. Henry Enciso Boluarte e Ing. Carmen Cecilia Gil Rodríguez, por orientarnos en la realización de nuestra tesis.
- A la fábrica de ladrillos “Latesa” por su apoyo a nuestra investigación, brindándonos el acceso a las instalaciones de la fábrica para elaborar los nuevos ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación de tesis “**Evaluación de la conductividad térmica, propiedades físico - mecánicas del ladrillo King-Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional**”, analizó el comportamiento de la puzolana en la masa cerámica del ladrillo King Kong 18 huecos, verificando que se modifican las propiedades físico – mecánicas de la unidad de albañilería.

Con la adición de puzolana al ladrillo, la conductividad térmica se reduce, obteniéndose un material térmicamente más aislante, así mismo el porcentaje de absorción y succión se incrementan, la resistencia a la compresión y la tracción se reducen, pero el ladrillo se mantiene como tipo IV.

Para el ensayo de la propiedad física de la conductividad térmica se elaboró un equipo eléctrico basado en la norma ASTM C177-13, la cual sirve para determinar la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos.

Con los resultados se observó que las propiedades físicas tales como: la succión y absorción se incrementan, pero las propiedades mecánicas como son: la resistencia a compresión y la tracción se reducen, por lo tanto es importante regular cuidadosamente la cantidad de puzolana global y tamizada, adicionada a la masa cerámica de la unidad, cabe indicar que nuestro país todavía no cuenta con una norma técnica que regule la cantidad de puzolana adicionada al ladrillo.

**Palabras Clave:** Conductividad térmica, Puzolana, Resistencia a la compresión, Resistencia a la tracción, succión y absorción.

**(ABSTRACT)**

This research thesis "**Evaluation of thermal conductivity, physical - mechanical properties brick King Kong 18 holes with added pozzolan Raqchi quarry in different percentages with respect to a traditional brick**", analyzes the behavior of pozzolana in the thermal mass of brick King Kong 18 holes, verifying that the physical properties are modified - mechanical unit masonry.

With the addition of pozzolana brick, the thermal conductivity is reduced, resulting in a more thermally insulating material, also the absorption rate and suction is increased, the compressive strength and tensile strength are reduced, but the brick is kept type IV.

For testing physical property of thermal conductivity it was prepared electrical equipment ASTM C177-13 based standard, which is used to determine the thermal conductivity of the hollow brick 18 King Kong.

With the results found that the physical properties such as suction and absorption are increased, but the mechanical properties such as: the compressive strength and tensile strength are reduced, therefore it is important to carefully regulate the amount of pozzolan global and sieved, added to the ceramic mass unit, it should be noted that our country still does not have a technical standard that regulates the amount of pozzolan added to the brick.

**Keywords:** Thermal conductivity, Pozzolan, Resistance to compression, Resistance to traction, suction and absorption.



## INTRODUCCIÓN

Los ladrillos King Kong 18 huecos elaborados en las ladrilleras del distrito San Jerónimo, tienen como materia prima la arcilla común y el agua, la dosificación y elaboración son de manera artesanal, puesto que la mayoría de dichas fábricas son semi industriales, dichas fábricas se encuentran en la cantera de arcilla de la zona Sucso Aucaylle – San Jerónimo, una de las principales empresas es la ladrillera Latesa, este por contar con equipos eléctricos y mecánicos para fabricar unidades de albañilería de arcilla.

Según estudios anteriores, los ladrillos de arcilla fabricados con adiciones de puzolana natural, generan poros en el cuerpo del ladrillo, estos poros tienen la propiedad de retener la temperatura y el agua, pero reducen la resistencia a la compresión y la tracción, no cumpliendo de este modo los requerimientos y exigencias emitidos por la Norma Técnica Peruana 399.613 – 2005, por lo tanto se debe regular la cantidad de puzolana agregada a la masa cerámica del ladrillo.

Sabiendo que la conductividad térmica, es una propiedad física de un material que expresa la capacidad de conducir el calor y es propia e inherente de cada material, el modelamiento matemático de esta propiedad física se basa en la “ley de calor de Fourier”, el coeficiente de la conductividad térmica de los ladrillos se determina con la fórmula matemática derivada de la ley de Fourier, la cual está en función de las dimensiones de la unidad y la potencia de energía eléctrica que genera calor en la placa de aluminio.

Para el ensayo de la conductividad térmica del ladrillo se fabricó un equipo eléctrico, basado en la norma ASTM C177 – 13, el cual consiste en someter a los ladrillos a una placa caliente de aluminio, el flujo de calor se transmite hacia otra cara de la unidad, una vez que el calor traspase el espesor del ladrillo se miden las temperaturas en ambas caras, luego se aplica la ley matemática de Fourier para determinar el coeficiente de la conductividad térmica del ladrillo tradicional y del ladrillo adicionado con puzolana.



Para determinar las propiedades físico mecánicas de los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana, en total se ensayaron 100 ladrillos, de los cuales se observó que las propiedades físicas como la succión y el porcentaje de absorción se incrementan con respecto a un ladrillo tradicional, pero la resistencia a la compresión y la tracción varían, es decir que para adiciones de puzolana tamizada en 10% y puzolana global en 20%, las propiedades mecánicas se incrementan y el ladrillo se mantiene como tipo IV, pero para adiciones de puzolana tamizada y global mayores en 20%, la resistencia a la compresión y la tracción se reducen.

De acuerdo la Norma Técnica E – 070 de albañilería, para aplicaciones de fines estructurales, las unidades de albañilería adicionadas con puzolana de la cantera Raqchi, se clasificaron como tipo IV, puesto que a pesar la resistencia a la compresión se encuentra dentro del tipo V, el albeo y variación dimensional se encuentran dentro del rango de ladrillos tipo IV, por lo que se considera los resultados más desfavorables.



**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA.....i

AGRADECIMIENTOS ..... ii

RESUMEN ..... iii

(ABSTRAC).....iv

INTRODUCCIÓN .....v

ÍNDICE GENERAL.....vii

**CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1**

1.1. Identificación del problema..... 1

1.1.1. Descripción del problema..... 1

1.1.2. Formulación interrogativa del problema ..... 3

1.1.2.1. Problema general ..... 3

1.1.2.2. Problemas específicos..... 3

1.2. Justificación e importancia del problema..... 4

1.2.1. Justificación técnica ..... 4

1.2.2. Justificación social ..... 4

1.2.3. Justificación de la viabilidad..... 5

1.2.4. Justificación de la relevancia ..... 5

1.3. Limitaciones de la investigación ..... 6

1.4. Objetivos ..... 8

1.4.1. Objetivo general ..... 8

1.4.2. Objetivos específicos ..... 8

1.5. Hipótesis ..... 9

1.5.1. Hipótesis general ..... 9

1.5.2. Sub hipótesis..... 9

1.6. Variables ..... 10

1.6.1. Variables independientes..... 10

1.6.1.1. Indicadores de las variables independientes..... 10

1.6.2. Variables dependientes..... 10

1.6.2.1. Indicadores de las variables dependientes ..... 10

1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables..... 11

**CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 12**





2.1. Antecedentes de la tesis .....	12
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	12
2.2. Aspectos teóricos pertinentes .....	14
2.2.1. Unidades de albañilería.....	14
2.2.1.1. Características generales.....	14
2.2.1.2. Tipos de unidades .....	15
2.2.1.2.1. Unidad de albañilería sólida (o maciza).....	15
2.2.1.2.2. Unidad de albañilería hueca.....	15
2.2.1.2.3. Unidad de albañilería alveolar .....	16
2.2.1.2.4. Unidad de albañilería tubular (o pandereta) .....	16
2.2.1.2.5. Unidad de albañilería apilable .....	16
2.2.1.3. Clasificación para fines estructurales .....	16
2.2.2. Propiedades del ladrillo .....	17
2.2.2.1. Resistencia a la compresión .....	18
2.2.2.2. Resistencia a la tracción .....	18
2.2.2.3. Succión .....	19
2.2.2.4. Absorción .....	19
2.2.2.5. Variabilidad dimensional .....	19
2.2.2.6. Alabeo .....	20
2.2.3. Ensayos .....	20
2.2.3.1. Ensayo a la compresión de la unidad de albañilería .....	20
2.2.3.2. Ensayo de tracción de la unidad de albañilería.....	21
2.2.3.3. Ensayo de succión de la unidad de albañilería .....	21
2.2.3.4. Ensayo de absorción de la unidad de albañilería.....	22
2.2.3.5. Ensayo de variación dimensional del ladrillo.....	22
2.2.3.6. Ensayo de alabeo de la unidad de albañilería.....	23
2.2.4. Arcilla .....	24
2.2.4.1. Clasificación industrial de las arcillas .....	25
2.2.4.1.1. Arcillas expansivas (esmeclitas) .....	25
2.2.4.1.2. Arcillas refractarias.....	26
2.2.4.1.3. Arcillas caoliníticas.....	26
2.2.4.1.4. Arcillas comunes .....	27
2.2.4.1.5. Arcillas especiales.....	27



2.2.4.2. Mineralogía de las arcillas.....	28
2.2.4.3. Composición mineralógica de las arcillas comunes .....	28
2.2.4.4. Composición química de las arcillas comunes.....	29
2.2.4.5. Análisis químico cantera puca orcco .....	29
2.2.4.6. Canteras en el Perú.....	29
2.2.5. Puzolana .....	30
2.2.5.1. Composición mineralógica y química.....	31
2.2.5.2. Clasificación de puzolanas.....	32
2.2.5.2.1. Puzolanas naturales.....	32
2.2.5.2.2. Puzolanas artificiales.....	33
2.2.5.3. Condiciones y ambientes de formación.....	34
2.2.5.4. Usos de la puzolana.....	37
2.2.5.4.1. En construcción.....	37
2.2.5.5. Aislante térmico.....	39
2.2.5.6. Filtros naturales.....	39
2.2.5.7. Absorbentes .....	39
2.2.5.8. Canteras de puzolana en el Perú por regiones, en el año 2004.....	39
2.2.6. Proceso de fabricación del ladrillo.....	39
2.2.6.1. Extracción de arcilla y tierras .....	40
2.2.6.2. Mezcla.....	40
2.2.6.3. Moldeo o labranza.....	42
2.2.6.4. Secado .....	45
2.2.6.5. Carga del horno .....	46
2.2.6.6. Cocción .....	47
2.2.6.7. Descarga del horno .....	48
2.2.6.8. Clasificación y despacho.....	49
2.2.7. Energía eléctrica .....	49
2.2.7.1. Resistencia eléctrica .....	49
2.2.7.2. Corriente eléctrica .....	50
2.2.7.3. Potencial eléctrico .....	50
2.2.7.4. Potencia eléctrica.....	51
2.2.7.5. Efecto joule .....	52
2.2.8. Mecanismos de transferencia de calor.....	53



2.2.8.1. Conducción ..... 54

2.2.8.2. Convección ..... 57

2.2.8.3. Radiacion ..... 58

2.2.9. Conductividad térmica..... 58

2.2.9.1. Definición de la conductividad térmica ..... 58

2.2.9.2. Coeficiente de la conductividad térmica ..... 58

2.2.10. Sensór de temperarura ..... 59

2.2.10.1 termocupla tipo k..... 60

2.2.11. Equipo eléctrico para el ensayo de la conductividad térmica de los ladrillos..... 61

2.2.11.1. Acondicionamiento del equipo eléctrico ..... 61

2.2.11.2. Unidad calefactora ..... 62

2.2.11.3. Sistema de control de temperatura ..... 64

2.2.9.2. Determinación experimental de la conductividad térmica del ladrillo king kong 18 huecos. .... 66

**CAPÍTULO III: METODOLOGÍA..... 69**

3.1 metodología de la investigación ..... 69

3.1.1. Tipo y nivel de investigación ..... 69

3.1.2. Método de la investigación..... 70

3.2. Diseño de investigación ..... 70

3.3. Población y muestra..... 73

3.3.1. Población ..... 73

3.3.1.1. Descripción de la población ..... 73

3.3.1.2. Cuantificación de la población..... 73

3.3.2. Muestra ..... 73

3.3.2.1. Descripción de la muestra..... 73

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra ..... 73

3.3.2.3. Método de muestreo ..... 74

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra ..... 74

3.3.3. Criterios de inclusión..... 75

3.4 instrumentos..... 76

3.4.1. Instrumento de recolección de datos ..... 76

3.4.2. Instrumentos de ingeniería..... 87

3.5. Recolección de datos..... 87



3.5.1. Recolección de la puzolana ..... 87

3.5.2. Molienda de la puzolana ..... 90

3.5.3. Granulometría de la puzolana ..... 92

3.5.4. Dosificación de materiales del ladrillo king kong. .... 94

3.5.5. Elaboración de ladrillos king kong 18 huecos ..... 99

3.5.6. Succión del ladrillo king kong 18 huecos..... 104

3.5.7. Absorción del ladrillo king kong 18 huecos. .... 111

3.5.8. Tracción del ladrillo king kong 18 huecos..... 116

3.5.9. Resistencia a la compresión del ladrillo king kong 18 huecos..... 121

3.5.10. Conductividad térmica del ladrillo king kong 18 huecos. .... 126

3.5.11. Variación dimensional del ladrillo king kong 18 huecos. .... 133

3.5.12. Alabeo del ladrillo king kong 18 huecos. .... 135

3.6. Procedimiento de análisis de datos..... 137

3.6.1 recolección de la puzolana..... 137

3.6.2. Molienda de la puzolana ..... 138

3.6.3 granulometría de la puzolana..... 138

3.6.4 dosificación de ladrillos king kong 18 huecos..... 140

3.6.4.3. Análisis de la prueba ..... 148

3.6.5 elaboración de ladrillos king kong ..... 149

3.6.6 succión del ladrillo ..... 151

3.6.7 absorción del ladrillo ..... 157

3.6.8 tracción del ladrillo ..... 163

3.6.9 resistencia a la compresión del ladrillo..... 169

3.6.10 conductividad térmica del ladrillo ..... 175

3.6.11. Variación dimensional del ladrillo ..... 181

3.6.12. Alabeo del ladrillo ..... 182

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS..... 183**

4.1. Resultados de la elaboración de ladrillo king kong 18 huecos adicionados con puzolana..... 183

4.1.1. Resultado de la succión del ladrillo ..... 183

4.1.1.1. Ladrillo adicionado con puzolana tamizada..... 183

4.1.1.2. Ladrillo adicionado con puzolana global..... 184

4.1.2. Resultado de la absorción del ladrillo..... 185

4.1.2.1. Ladrillo adicionado con puzolana tamizada..... 185



4.1.2.2. Ladrillo adicionado con puzolana global.....	187
4.1.3. Resultado de la resistencia a la tracción del ladrillo .....	188
4.1.3.1. Ladrillo adicionado con puzolana tamizada.....	188
4.1.3.2. Ladrillo adicionado con puzolana global.....	189
4.1.4. Resultado de la resistencia a la compresión del ladrillo.....	191
4.1.4.1. Ladrillo adicionado con puzolana tamizada.....	191
4.1.4.2. Ladrillo adicionado con puzolana global.....	192
4.1.5. Resultado de la conductividad térmica del ladrillo.....	194
4.1.5.1. Ladrillo adicionado con puzolana tamizada.....	194
4.1.5.2. Ladrillo adicionado con puzolana global.....	195
4.1.6. Clasificación de ladrillos adicionados con puzolana.....	197
4.1.6.1 clasificación de ladrillos con puzolana tamizada .....	197
4.1.6.2. Clasificación de ladrillos con puzolana global .....	197
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....</b>	<b>198</b>
GLOSARIO .....	203
CONCLUSIONES .....	208
RECOMENDACIONES .....	212
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	214
ANEXOS .....	216



**ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Foto N°1: Sensor de temperatura digital – termocupla tipo K ..... 60

Foto N° 2: Placa de aluminio generadora de calor..... 63

Foto N°3: Fuente de voltaje alterna de la placa de aluminio ..... 63

Foto N° 4: Control de temperatura con termocuplas tipo K..... 64

Foto N° 5: Módulo eléctrico para determinar la conductividad térmica ..... 66

Foto N° 6: Instalación de la placa caliente y ladrillos al equipo eléctrico..... 67

Foto N° 7: Esquema de acondicionamiento de la unidad de albañilería ..... 68

Foto N° 8: Cantera de puzolana “Acco Pata” – Raqchi. .... 87

Foto N° 9: Extracción de puzolana en la cantera “Acco Pata” - Raqchi ..... 88

Foto N° 10: Transporte de puzolana de la cantera Raqchi ..... 89

Foto N° 11: Encendido Del Molino Triturador..... 90

Foto N° 12: Proceso de molienda de La puzolana ..... 91

Foto N° 13: Colocacion de la puzolana a los tamices ..... 92

Foto N° 14: Tamizado de la puzolana ..... 93

Foto N° 15: Muestras de puzolana después del tamizado ..... 93

Foto N° 16: Dosificación de arcilla y agua para los ladrillos tradicionales ..... 95

Foto N° 17: Adición de la arenilla a la arcilla ..... 95

Foto N° 18: Peso del ladrillo King Kong crudo ..... 96

Foto N° 19: Peso del ladrillo King Kong cocido ..... 96

Foto N° 20: Puzolana tamizada que se adicionó al ladrillo King Kong ..... 97

Foto N° 21: Puzolana global que se adicionó al ladrillo King Kong ..... 98

Foto N° 22: Dosificación de la materia prima del ladrillo ..... 99

Foto N° 23: Extracción de los ladrillos de la máquina extrusora y moldeadora ..... 100

Foto N° 24: Secado de los ladrillos a la intemperie..... 101

Foto N° 25: Quemado de los ladrillos King Kong ..... 102

Foto N° 26: Ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi ..... 103

Foto N° 27: Colocación de ladrillos al horno eléctrico ..... 105

Foto N° 28: Control de peso del ladrillo..... 105

Foto N° 29: Medición de las dimensiones del ladrillo ..... 106

Foto N° 30: Control de la horizontalidad de la bandeja ..... 106



Foto N° 31: Colocación del ladrillo sobre los soportes ..... 107

Foto N° 32: Secado del ladrillo con franela ..... 107

Foto N° 33: Control del peso del ladrillo con agua ..... 108

Foto N° 34: Colocado del ladrillo al horno ..... 112

Foto N° 35: Control del peso seco del ladrillo ..... 112

Foto N° 36: Colocación del ladrillo en recipientes de agua ..... 113

Foto N° 37: Secado del ladrillo con franela ..... 113

Foto N° 38: Control de peso del ladrillo saturado ..... 114

Foto N° 39: Nivelación de superficie del ladrillo con yeso ..... 117

Foto N° 40: Determinación del ancho y espesor del ladrillo ..... 117

Foto N° 41: Colocado del ladrillo en la máquina de compresión ..... 118

Foto N° 42: Ensayo de la tracción por flexión del ladrillo ..... 118

Foto N° 43: Colocado del capping al ladrillo ..... 122

Foto N° 44: Toma de dimensiones del ladrillo ..... 122

Foto N° 45: Proceso de ensayo de compresión del ladrillo ..... 123

Foto N° 46: Falla por aplastamiento del ladrillo ..... 123

Foto N° 47: Falla por corte del ladrillo ..... 124

Foto N° 48: Medición de las dimensiones del ladrillo ..... 127

Foto N° 49: Colocación de los sensores ..... 128

Foto N° 50: Colocación de los ladrillos en el equipo eléctrico ..... 128

Foto N° 51: Medición del ohmiaje de la placa caliente ..... 129

Foto N° 52: Suministro de voltaje a la placa caliente ..... 129

Foto N° 53: Control del voltaje y temperatura del módulo ..... 130

Foto N° 54: Temperatura final de los sensores en las placas ..... 130

Foto N° 55: Ensayo de la variación dimensional del ladrillo ..... 134

Foto N° 56: Ensayo de la concavidad del ladrillo ..... 135

Foto N° 57: Ensayo de la convexidad del ladrillo ..... 136



**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Canteras de arcilla común en el Perú por regiones ..... 30

Ilustración 2: Superficie de un grano de puzolana amplificado 60 veces. .... 35

Ilustración 3: Superficie de un grano de puzolana amplificado 150 veces. .... 35

Ilustración 4: Se observa la formación de pequeños poros en forma de canales, aumento 1200 veces..... 36

Ilustración 5: Detalle de los poros de la puzolana, aumento 3000 veces..... 36

Ilustración 6: Diagrama de flujo general para la actividad ladrillera ..... 40

Ilustración 7: Proceso de elaboración y moldeo del ladrillo..... 43

Ilustración 8: Briquetas cilíndricas ..... 45

Ilustración 9: Señal sinusoidal de voltaje alterna..... 51

Ilustración 10: Flujo de calor por conducción a través de una varilla ..... 55

Ilustración 11: Flujo de calor a través de una pared plana ..... 55

Ilustración 12: Acondicionamiento de los ladrillos para el ensayo de la conductividad térmica ..... 62

Ilustración 13: Flujo de calor generado por la placa caliente ..... 64

Ilustración 14: Instalación de termopares tipo K en las placas caliente y fría. . 65

Ilustración 15: Formato para seleccionar la puzolana en cantera ..... 77

Ilustración 16: Formato para determinar granulometría de la puzolana ..... 78

Ilustración 17: Formato para determinar el contenido de humedad ..... 79

Ilustración 18: Formato para determinar la conductividad térmica ..... 80

Ilustración 19: Formato para determinar la absorción del ladrillo ..... 81

Ilustración 20: Formato para determinar la succión del ladrillo ..... 82

Ilustración 21: Formato para determinar la tracción por flexión ..... 83

Ilustración 22: formato para la compresión de unidades de arcilla..... 84

Ilustración 23: formato para la variación dimensional de unidades..... 85

Ilustración 24: formato para el alabeo de unidades de arcilla ..... 86

Ilustración 25: Pérdida del volumen de la puzolana en la trituración..... 137

Ilustración 26: Pérdida del volumen de la puzolana en la trituración..... 138

Ilustración 27: Porcentaje de puzolana retenida en cada tamiz ..... 139

Ilustración 28: Dosificación de materiales para un ladrillo tradicional ..... 144

Ilustración 29: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 16 ..... 145





Ilustración 30: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 30 ..... 145

Ilustración 31: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 50 ..... 146

Ilustración 32: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 100 ..... 146

Ilustración 33: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana global al 10%..... 147

Ilustración 34: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana global al 20%..... 147

Ilustración 35: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana global al 30%..... 148

Ilustración 36: Ladrillos elaborados con puzolana tamizada y global..... 150

Ilustración N° 37: Succión del ladrillo King Kong tradicional ..... 153

Ilustración N° 38: Succión del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 153

Ilustración N° 39: Succión del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 154

Ilustración N° 40: Succión del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 154

Ilustración N° 41: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 154

Ilustración N° 42: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 155

Ilustración N° 43: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 156

Ilustración N° 44: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 156

Ilustración N° 45: Absorción del ladrillo King Kong tradicional ..... 159

Ilustración N° 46: Absorción del ladrillo con 10% de puzolana global..... 159

Ilustración N° 47: Absorción del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 160

Ilustración N° 48: Absorción del ladrillo con 30% de puzolana global..... 160

Ilustración N° 49: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 161

Ilustración N° 50: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 161

Ilustración N° 51: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 162

Ilustración N° 52: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 162

Ilustración N° 53: Resistencia a la tracción del ladrillo King Kong tradicional 165

Ilustración N° 54: Resistencia a la tracción del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 165

Ilustración N° 55: Resistencia a la tracción del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 166

Ilustración N° 56: Resistencia a la tracción del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 166



Ilustración N° 57: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 167

Ilustración N° 58: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 167

Ilustración N° 59: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 168

Ilustración N° 60: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 168

Ilustración N° 61: Resistencia a la compresión del ladrillo King Kong tradicional ..... 171

Ilustración N° 62: Resistencia a la compresión del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 171

Ilustración N° 63: Resistencia a la compresión del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 172

Ilustración N° 64: Resistencia a la compresión del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 172

Ilustración N° 65: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 173

Ilustración N° 66: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 173

Ilustración N° 67: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 174

Ilustración N° 68: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 174

Ilustración N° 69: Conductividad térmica del ladrillo King Kong tradicional.... 177

Ilustración N° 70: Conductividad térmica del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 177

Ilustración N° 71: Conductividad térmica del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 178

Ilustración N° 72: Conductividad térmica del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 178

Ilustración N° 73: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 179

Ilustración N° 74: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 179

Ilustración N° 75: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 180



Ilustración N° 76: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 180

Ilustración N° 77: Variación dimensional del ladrillo King Kong 18 huecos.... 181

Ilustración N° 78: Variación dimensional del ladrillo King Kong 18 huecos.... 182

Ilustración 79: Succión del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana tamizada ..... 183

Ilustración 80: Succión del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana global.. 184

Ilustración 81: Absorción del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana tamizada ..... 186

Ilustración 82: Absorción del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana global 187

Ilustración 83: Resistencia a la tracción del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana tamizada ..... 188

Ilustración 84: Resistencia a la Tracción del Ladrillo Tradicional y Ladrillo con Puzolana Global..... 190

Ilustración 85: Resistencia a la compresión del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana tamizada ..... 191

Ilustración 86: Resistencia a la compresión del ladrillo tradicional y ladrillo con puzolana global ..... 193

Ilustración 87: Conductividad térmica del ladrillo tradicional y ladrillos con puzolana tamizada ..... 194

Ilustración 88: Conductividad térmica del ladrillo tradicional y ladrillos con puzolana global ..... 196



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla N° 1: Clasificación de ladrillos para fines estructurales ..... 17

Tabla N° 2: Arcillas Comunes para Ladrillos .....28

Tabla N° 3: Composición Química para Ladrillos (huecos y macizos) .....29

Tabla N° 4: Análisis Químico cantera Puca Orcco .....29

Tabla N° 5: Composición Química de las Puzolanas .....31

Tabla N° 6: Composición Química de las Puzolanas de la Cantera Ccocha (Raqchi) .....32

Tabla N° 7: Canteras de Puzolana en el Perú por Regiones .....39

Tabla N° 8: Valores de resistencias con diferentes mezclas.....42

Tabla N° 9: División de los materiales en buenos aislantes térmicos, moderados o pobres .....59

Tabla N° 10: Toma de datos de la puzolana molida.....91

Tabla N° 11: Toma de datos de la puzolana tamizada..... 94

Tabla N° 12: Peso del ladrillo crudo King Kong 18 huecos ..... 98

Tabla N° 13: Peso del ladrillo cocido King Kong 18 huecos..... 99

Tabla N° 14: Cantidad de ladrillos King Kong fabricados..... 103

Tabla N° 15: Datos del ensayo de succión del ladrillo tradicional ..... 108

Tabla N° 16: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 109

Tabla N° 17: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 109

Tabla N° 18: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 109

Tabla N° 19: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 110

Tabla N° 20: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 110

Tabla N° 21: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 110

Tabla N° 22: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 111

Tabla N° 23: Datos del ensayo de absorción del ladrillo tradicional..... 114

Tabla N° 24: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 114



Tabla N° 25: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 115

Tabla N° 26: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 115

Tabla N° 27: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 115

Tabla N° 28: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 115

Tabla N° 29: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 115

Tabla N° 30: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 116

Tabla N° 31: Datos del ensayo de tracción del ladrillo tradicional.....119

Tabla N° 32: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 10% de puzolana global .....119

Tabla N° 33: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 20% de puzolana global .....119

Tabla N° 34: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 30% de puzolana global .....120

Tabla N° 35: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 .....120

Tabla N° 36: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 .....120

Tabla N° 37: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 .....120

Tabla N° 38: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 .....121

Tabla N° 39: Datos del ensayo de compresión del ladrillo tradicional.....124

Tabla N° 40: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 10% de puzolana global .....124

Tabla N° 41: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 20% de puzolana global .....125

Tabla N° 42: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 30% de puzolana global .....125

Tabla N° 43: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 .....125

Tabla N° 44: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 .....125



Tabla N° 45: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 126

Tabla N° 46: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 126

Tabla N° 47: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo tradicional ..... 131

Tabla N° 48: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 131

Tabla N° 49: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 131

Tabla N° 50: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 132

Tabla N° 51: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 132

Tabla N° 52: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 132

Tabla N° 53: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 133

Tabla N° 54: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 133

Tabla N° 55: Datos del ensayo de variación dimensional del ladrillo. .... 134

Tabla N° 56: Datos del ensayo de alabeo del ladrillo. .... 136

Tabla N° 57: Características de la puzolana natural ..... 137

Tabla N° 58: Granulometría de puzolana triturada de la cantera Raqchi ..... 139

Tabla N° 59: Dosificación del ladrillo tradicional King Kong 18 huecos..... 141

Tabla N° 60: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 16 ..... 142

Tabla N° 61: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 30 ..... 142

Tabla N° 62: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 50 ..... 142

Tabla N° 63: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 100 ..... 143

Tabla N° 64: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 10% ..... 143

Tabla N° 65: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 20% ..... 144

Tabla N° 66: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 30% ..... 144

Tabla N° 67: Succión del ladrillo King Kong tradicional..... 151

Tabla N° 68: Succión del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 151

Tabla N° 69: Succión del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 151

Tabla N° 70: Succión del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 152



Tabla N° 71: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 152

Tabla N° 72: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 152

Tabla N° 73: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 152

Tabla N° 74: Succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 152

Tabla N° 75: Absorción del ladrillo King Kong tradicional ..... 157

Tabla N° 76: Absorción del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 157

Tabla N° 77: Absorción del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 157

Tabla N° 78: Absorción del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 157

Tabla N° 79: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 158

Tabla N° 80: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 158

Tabla N° 81: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 158

Tabla N° 82: Absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 158

Tabla N° 83: Resistencia a la tracción del ladrillo King Kong tradicional ..... 163

Tabla N° 84: Resistencia a la tracción del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 163

Tabla N° 85: Resistencia a la tracción del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 163

Tabla N° 86: Resistencia a la tracción del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 164

Tabla N° 87: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 164

Tabla N° 88: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 164

Tabla N° 89: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 164

Tabla N° 90: Resistencia a la tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 164

Tabla N° 91: Resistencia a la compresión del ladrillo King Kong tradicional.. 169

Tabla N° 92: Resistencia a la compresión del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 169

Tabla N° 93: Resistencia a la compresión del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 170

Tabla N° 94: Resistencia a la compresión del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 170

Tabla N° 95: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 170





Tabla N° 96: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 170

Tabla N° 97: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 170

Tabla N° 98: Resistencia a la compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 171

Tabla N° 99: Conductividad térmica del ladrillo King Kong tradicional ..... 175

Tabla N° 100: Conductividad térmica del ladrillo con 10% de puzolana global ..... 175

Tabla N° 101: Conductividad térmica del ladrillo con 20% de puzolana global ..... 176

Tabla N° 102: Conductividad térmica del ladrillo con 30% de puzolana global ..... 176

Tabla N° 103: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16 ..... 176

Tabla N° 104: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30 ..... 176

Tabla N° 105: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50 ..... 176

Tabla N° 106: Conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100 ..... 177

Tabla N° 107: Variación dimensional del ladrillo King Kong 18 huecos ..... 181

Tabla N° 108: Alabeo del ladrillo King Kong 18 huecos ..... 182

Tabla N° 109: Variación de succión del ladrillo adicionado con puzolana tamizada ..... 184

Tabla N° 110: Variación de succión del ladrillo adicionado con puzolana global ..... 185

Tabla N° 111: Variación de absorción del ladrillo adicionado con puzolana tamizada ..... 186

Tabla N° 112: Variación de absorción del ladrillo adicionado con puzolana global ..... 187

Tabla N° 113: Variación de tracción del ladrillo adicionado con puzolana tamizada ..... 189

Tabla N° 114: Variación de tracción del ladrillo adicionado con puzolana global ..... 190

Tabla N° 115: Variación de la resistencia a la compresión del ladrillo adicionado con puzolana tamizada ..... 192





Tabla N° 116: Variación de resistencia a la compresión del ladrillo adicionado con puzolana global ..... 193

Tabla N° 117: Variación de la conductividad térmica del ladrillo con puzolana tamizada ..... 195

Tabla N° 118: Variación de la conductividad térmica del ladrillo con puzolana global ..... 196

Tabla N° 119: Clasificación de ladrillos con puzolana tamizada ..... 197

Tabla N° 120: Clasificación de ladrillos con puzolana global ..... 197



## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Identificación del problema**

#### **1.1.1. Descripción del problema**

La aplicación de las unidades de albañilería de arcilla cocida, denominado tradicionalmente como el ladrillo King Kong 18 huecos, es frecuente en la construcción de edificaciones en nuestra ciudad, principalmente en muros portantes, albañilería confinada, parapetos o tabiques, etc, por tal motivo deben cumplir las propiedades estipuladas en las Normas Técnicas Peruanas referidas al ladrillo de arcilla, en donde para fines estructurales, clasifican a las unidades de acuerdo a la resistencia de compresión, alabeo, variación dimensional, para así dar una aplicación específica en el ámbito de la construcción.

En nuestra región no se cuenta con ladrillos adicionados con puzolana, puesto que se desconoce este material como adición a la masa cerámica de las unidades de albañilería, de acuerdo a la investigación realizada por Alejandro Mella Stappung, la incorporación de puzolana a la masa cerámica en porcentaje superior al 10% mejora significativamente la conductividad térmica, pero compromete la absorción y la resistencia mecánica de la masa cerámica, es así que adicionando puzolana al ladrillo se tendría un nuevo material que tenga propiedades térmicas mejoradas, es decir conductividad térmica reducida que sea capaz de retener la temperatura fría o cálida en un medio.

La sierra Peruana es golpeada por una intensa ola de frío durante gran parte del año, según Lucy Harman (Coordinadora de Emergencias y Gestión del Riesgo) se estima que más de seis millones de peruanos están sometidos a condiciones climáticas frías extremas en las zonas sur, centro y nororiente del país, la población más vulnerable en estas condiciones son los niños y ancianos, ocasionando altos índices de mortalidad, enfermedades respiratorias y desnutrición, una de las causas de estos índices es la carencia de viviendas adecuadas, falta de conocimiento en la población de materiales de construcción con baja conductividad térmica, ventilación y aprovechamiento de la energía solar, entre otros.



Frente a este problema el gobierno Peruano promulgó el Decreto Supremo N° 008 – 2009 – Vivienda, este nuevo contexto propiciará la financiación de nuevos proyectos de construcción e investigación, orientadas a brindar un mayor confort térmico en viviendas alto andinas, para lo cual se requieren materiales que tengan conductividad térmica reducida, frente a este problema social, los nuevos ladrillos adicionados con puzolana aportarán para la construcción de viviendas con mayor confort térmico, en zonas rurales ubicadas por encima de los 3500 msnm.

Debido a que en nuestro país no está normado un equipo para realizar el ensayo de la conductividad térmica del ladrillo, motivo por el cual se limitan las investigaciones de esta propiedad física; en la presente investigación se elaboró un equipo eléctrico para el ensayo de la conductividad térmica de los ladrillos, la elaboración del mencionado equipo se basa en la norma ASTM C177 – 13, y en las investigaciones en los países como Chile, España, México y Estados Unidos.

Por lo expuesto anteriormente, la presente tesis deja como antecedente y aporta a la utilización de los ladrillos adicionados con puzolana, como un material de construcción alternativo, con conductividad térmica reducida, pero sin perjudicar su resistencia mecánica ni su propiedad física.



## 1.1.2. Formulación interrogativa del problema

### 1.1.2.1. Problema general

¿Cómo variará la conductividad térmica y propiedades físico - mecánicas del ladrillo King Kong 18 huecos; adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional en la ciudad del Cusco?

### 1.1.2.2. Problemas específicos

- **Formulación interrogativa n° 1**

¿Cómo varía la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional?

- **Formulación interrogativa n° 2**

¿Cuál será el porcentaje de absorción del ladrillo King Kong 18 huecos con la adición de diferentes porcentajes de puzolana de la cantera Raqchi, respecto a un ladrillo tradicional?

- **Formulación interrogativa n° 3**

¿Cuál será la succión del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, respecto a un ladrillo tradicional?

- **Formulación interrogativa n° 4**

¿Cuál será el porcentaje de adición óptimo de puzolana de la cantera Raqchi, a la masa cerámica del ladrillo para mejorar su resistencia a la compresión?

- **Formulación interrogativa n° 5**

¿Cuál será el porcentaje de adición óptimo de puzolana de la cantera Raqchi, a la masa cerámica del ladrillo para mejorar su resistencia a la tracción?



## **1.2. Justificación e importancia del problema**

### **1.2.1. Justificación técnica**

La presente tesis aporta el estudio sobre un nuevo material para la construcción de viviendas, sobre todo en las zonas frías, teniendo en cuenta que el ladrillo tiene propiedades térmicas mejoradas, puesto que la aplicación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo reduce la conductividad térmica de la unidad, por lo tanto el ladrillo se comporta como un aislante térmico, los muros de las viviendas construidos con estos ladrillos mantendrán la temperatura deseada al interior de las viviendas.

Para los ensayos de la conductividad térmica del ladrillo, se elaboró un equipo eléctrico, que determina la mencionada propiedad física, basándose en los principios de la ley de calor de Fourier, la cual determina el flujo de calor a través de un material, por el método de la placa caliente.

### **1.2.2. Justificación social**

Según Honorato Sánchez Quispe en su publicación “Niveles de tecnología de hornos ladrilleros del Perú”, la zona Sucso Aucaylle del distrito San Jerónimo cuenta con 225 ladrilleras; por lo cual dichas ladrilleras generan más oportunidades de trabajo y empresa, fabricando nuevos ladrillos adicionados con puzolana, se tendrá mayor demanda de ladrillos para la construcción de viviendas localizadas a más de 3500 m.s.n.m. (Ley N° 29589), puesto que se trata de una nueva opción de unidad de albañilería, que de utilizarse en la construcción aportaría en la conservación del calor en las viviendas.

La cantera Raqchi actualmente está concesionada para su respectiva explotación, la administración de dicha cantera está a cargo de la comunidad campesina Raqchi, por lo cual la venta de puzolana a las empresas ladrilleras podría generar oportunidades laborales e ingresos económicos a dicha comunidad.



### 1.2.3. Justificación de la viabilidad

Para el ensayo de la conductividad térmica de los ladrillos adicionados con puzolana, se fabricó un equipo eléctrico basado en la norma ASTM C177 – 13, ensayo que a través de una placa metálica de aluminio genera calor utilizando la energía eléctrica, este módulo Eléctrico fue utilizado en Chile y España para determinar la conductividad térmica del ladrillo, también se cuenta con equipos y herramientas en el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco, los cuales sirven para determinar las propiedades mecánicas y físicas del ladrillo.

Se cuenta con normas técnicas y bibliografía relacionada al tema, así mismo se tiene acceso a la fábrica de ladrillos en San Jerónimo, y a las canteras de arcilla y cantera de puzolana de Raqchi, por lo tanto la presente investigación se consideró viable.

### 1.2.4. Justificación de la relevancia

Teniendo en cuenta las zonas alto andinas de nuestro país, se requieren materiales de construcción que deben estar de acuerdo con las características y necesidades climatológicas para los cuales han sido fabricados. Por tal motivo el ladrillo King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi, es una nueva alternativa de construcción con fines de conservar el calor y tener mayor confort térmico en las viviendas, ubicadas por encima de los 3500 m.s.n.m., como se indica en el Decreto Supremo N° 008 – 2009 – Vivienda.

Con la elaboración del equipo eléctrico se realizaron los ensayos de la conductividad térmica de los ladrillos King Kong 18 huecos, el presente estudio deja como antecedente para proponer la elaboración de la Norma Técnica Peruana para normar la conductividad térmica de los ladrillos, del mismo modo se deja como antecedente para elaborar la Norma Técnica Peruana, para normar los porcentajes de adición de la puzolana a la masa cerámica de las unidades de albañilería.



### 1.3. Limitaciones de la investigación

- a. Se limita al estudio de unidades de arcilla fabricadas en la ladrillera “LATESA” ubicada en el valle sur de la ciudad del Cusco (distrito de San Jerónimo); porque dicha empresa es la principal en el mencionado distrito, por el grado de mecanización en el conformado de los ladrillos de arcilla que fabrican, y por ser principal proveedor de ladrillos a las distintas constructoras en nuestra ciudad.
- b. Se limita al estudio de unidades de albañilería ladrillos King Kong 18 huecos, que tenga uso en la albañilería estructural, porque según el gerente de la ladrillera Latesa, en nuestra región dicho tipo de ladrillo es el más utilizado para la construcción de viviendas, el cual tiene las siguientes dimensiones:
  - Largo = 24 cm
  - Ancho = 14 cm
  - Altura = 9 cm
- c. Se limita el ensayo de la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos, mediante el uso del equipo eléctrico indicado por la norma ASTM C177 - 13, la cual se basa en el método de la placa caliente, utilizando así la fórmula matemática del coeficiente de la conductividad térmica deducida de la ley de calor de Fourier, donde la placa caliente se colocó en el canto del ladrillo, así mismo en los países como Chile y México se utilizó el método de dicha norma, para determinar la conductividad térmica de los ladrillos.
- d. Se limita al uso de la puzolana como material de construcción de la cantera Raqchi; porque este material es natural proveniente de la erupción del volcán Quinsachata y no está contaminada, en la actualidad los artesanos de Raqchi utilizan esta puzolana en la alfarería como aditivo en la artesanía de arcilla y materiales de construcción, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas, además la cantera de puzolana en Raqchi está concesionada para su explotación.



- e. Se limita la dosificación de los ladrillos King Kong 18 huecos adicionado con puzolana, al mismo principio de dosificación de materiales en peso del ladrillo tradicional, puesto que el objetivo de la presente investigación es evaluar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas del ladrillo adicionado con puzolana, con respecto a un ladrillo tradicional.
- f. Se limita al estudio de las propiedades del ladrillo, como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por flexión, absorción y la succión de los ladrillos adicionados con puzolana, porque con la adición de puzolana a la masa cerámica del ladrillo varía la conductividad térmica y las propiedades mencionadas, es decir están relacionadas con la conductividad térmica de la unidad de arcilla.
- g. Se limita realizar el ensayo de la compresión del ladrillo con medios ladrillos, por recomendación de la Norma Técnica Peruana 399.613.
- h. Se limita al estudio de las propiedades físico mecánicas de los ladrillos adicionados con puzolana tamizada, con tamaños de granos retenida en los tamices N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, los cuales son adicionados a la masa cerámica del ladrillo al 10%, de este modo se determinará las variaciones de las propiedades físico mecánicas, con respecto al tamaño de granos de la puzolana.
- i. Se limita al estudio de las propiedades físico mecánicas de los ladrillos adicionados con puzolana global, es decir todos los tamaños de puzolana que pasaron el tamiz N° 4, adicionados a la masa cerámica del ladrillo al 10%, 20% y 30%, para determinar las variaciones de las propiedades físico mecánicas, con respecto a la cantidad de puzolana en la unidad.





## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Evaluar la conductividad térmica y propiedades físico – mecánicas del ladrillo King- Kong 18 huecos; adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional en la ciudad del Cusco.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- **Objetivo específico n° 1**

Determinar la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, con respecto a un ladrillo tradicional.

- **Objetivo específico n° 2**

Determinar el porcentaje de absorción del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, respecto a un ladrillo tradicional.

- **Objetivo específico n° 3**

Determinar la succión del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi en diferentes porcentajes, respecto a un ladrillo tradicional.

- **Objetivo específico n° 4**

Determinar el porcentaje óptimo de adición de puzolana de la cantera Raqchi, a la masa cerámica del ladrillo King Kong 18 huecos, que incrementa su resistencia a la compresión.

- **Objetivo específico n° 5**

Determinar el porcentaje óptimo de adición de puzolana de la cantera Raqchi, a la masa cerámica del ladrillo King Kong 18 huecos, que incrementa su resistencia a la tracción.



## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis general

La conductividad térmica y propiedades físico – mecánicas, del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con porcentajes entre 10% a 30% de puzolana, varía significativamente con respecto a un ladrillo tradicional, en la ciudad del Cusco.

### 1.5.2. Sub hipótesis

- **Sub hipótesis n° 1**  
A mayor porcentaje adicionado de puzolana de la cantera Raqchi se obtiene menor conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos.
- **Sub hipótesis n° 2**  
A mayor porcentaje adicionado de puzolana de la cantera Raqchi se obtiene mayor porcentaje de absorción del ladrillo King Kong 18 huecos.
- **Sub hipótesis n° 3**  
A mayor porcentaje adicionado de puzolana de la cantera Raqchi se obtiene mayor succión del ladrillo King Kong 18 huecos.
- **Sub hipótesis n° 4**  
La adición de un determinado porcentaje de puzolana a la masa cerámica del ladrillo, le incrementa su resistencia a la compresión.
- **Sub hipótesis n° 5**  
La adición de un determinado porcentaje de puzolana a la masa cerámica del ladrillo, le incrementa su resistencia a la tracción.



## 1.6. Variables

### 1.6.1. Variables independientes

- Puzolana
- Arcilla

#### 1.6.1.1. Indicadores de las variables independientes

- Peso de la puzolana [Kg]
- Granulometría G [Tamiz]
- Peso de la arcilla [Kg]

### 1.6.2. Variables dependientes

- Ladrillo con adiciones de puzolana.

#### 1.6.2.1. Indicadores de las variables dependientes

- Conductividad Térmica  $\lambda$  , [W/(m. K)]
- Cantidad de agua absorbida **Abs** , [%]
- Cantidad de agua succionada **Suc** , [kg/cm<sup>2</sup>]
- Resistencia a la compresión **Fb** , [kg/cm<sup>2</sup>]
- Resistencia a la tracción por flexión **F'bt** , [kg/cm<sup>2</sup>]



10.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	DENOMINACION	DESCRIPCION	INDICADOR	UNIDAD
INDEPENDIENTE	Puzolana	Mide el porcentaje de puzolana de la cantera Raqchi, dicho porcentaje adicionado a la masa cerámica del ladrillo King Kong 18 huecos será en 10%, 20% y 30% de puzolana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de Puzolana</li> <li>• Granulometría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Kg]</li> <li>• <b>G</b> (Tamiz)</li> </ul>
	Arcilla	Mide el peso de la arcilla en los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana al 10%,20%,30%.	Cantidad de arcilla	[Kg]
DEPENDIENTE	Propiedad física de los ladrillos con adicciones de puzolana	Mide el coeficiente de la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos, utilizando el método de la placa caliente y tomando en cuenta la norma ASTM C177-13.	Conductividad térmica	$\lambda$ [W/(m. K)]
		Mide la cantidad de agua absorbida de los ladrillos King Kong 18 huecos, saturando los ladrillos en agua y tomando en cuenta la norma NTP 399.613.	Absorción	<b>Abs</b> [%]
		Mide la cantidad de agua succionada de los ladrillos King Kong 18 huecos, poniendo en contacto con agua la cara de asiento del ladrillo y tomando en cuenta la norma NTP 399.613.	Succión	<b>Suc</b> [kg/cm <sup>2</sup> .min]
DEPENDIENTE	Propiedad mecánica de los ladrillos con adicciones de puzolana	Mide la resistencia a la compresión de ladrillos King Kong 18 huecos posteriores al ensayo de flexión que tiene por dimensiones 12 cm x 12 cm x 10 cm, esta prueba se realiza con la máquina de compresión.	Resistencia a la compresión	<b>F<sub>b</sub></b> [kg/cm <sup>2</sup> ]
		Mide la resistencia a la tracción por flexión de ladrillos King Kong 18 huecos que tiene por dimensiones 24 cm x 12 cm x 10 cm, esta prueba se realiza con la máquina de compresión.	Resistencia a la tracción por flexión	<b>F'<sub>bt</sub></b> [kg/cm <sup>2</sup> ]



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la tesis

La presente investigación se presenta como una nueva faceta de investigación dentro de nuestra zona de influencia del estudio, aunque ya cuenta con estudios anteriormente realizadas las cuales son las siguientes:

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

- En agosto de 1990 en la ciudad de Colima – México se realizó una investigación, **“Diseño de dispositivo y método para medición de conductividad térmica de materiales de construcción”**. Donde se logra determinar físicamente la conductividad térmica de los materiales, mas no por métodos indirectos en este caso métodos estadísticos.

Según sus resultados manifiestan que la conductividad térmica varía de acuerdo a la relación de vacíos, puesto que estos poros pueden estar ocupados por agua o aire, por lo que concluyen que la conductividad térmica estaría en función del contenido de humedad...<sup>1</sup>

- En agosto de 2004 en la ciudad de concepción - Chile se realizó una investigación, **“Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica del ladrillo”**. Se logra llevar a cabo la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo, analizándose el comportamiento de las muestras de ladrillo mediante mediciones de: Densidad, Absorción, Conductividad Térmica y Resistencia a la Compresión.

Los resultados obtenidos en esta experiencia fueron bastante alentadores, “La incorporación de Puzolana a la masa cerámica en porcentaje superior al 10% mejora significativamente la Conductividad Térmica, pero compromete la Absorción y la Resistencia Mecánica del ladrillo.”...<sup>2</sup>



- El 15 de junio de 2007 Bellaterra, Barcelona – España, se realizó el estudio y diseño denominado, “**Diseño, fabricación y calibración de un dispositivo para la caracterización de las propiedades termofísicas en materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso**”. Se diseñó un módulo eléctrico que permitía determinar la conductividad térmica de las unidades de albañilería, sometiéndolos a una placa caliente de aluminio, se basaron en la norma UNE 92-201-89.

El resultado de dicha investigación fue: “es posible la fabricación de un dispositivo capaz de aplicar un flujo de calor a través de un material y medir la diferencia de temperatura entre focos frío y caliente, para calcular la conductividad intrínseca de materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso.”...<sup>3</sup>

- En mayo de 2011 en la ciudad Hermosillo, Sonora – México se realizó una investigación “**Estudio de la conductividad térmica de un concreto con agregados de puzolana**”. Donde obtuvieron valores de conductividad térmica del concreto con agregados de Puzolana  $\lambda = 0.458 \text{ w/(m*k)}$ , siendo este valor la tercera parte de un concreto tradicional, estos valores se reportan en NOM-008-ENER-2001 ( $\lambda = 1.65 \text{ w/m*k}$ ).

También mejoraron aspectos como el peso del mismo ya que el concreto a base de puzolana es 25% más ligero respecto de un concreto normal de la misma resistencia mecánica...<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Universidad de Colima facultad de arquitectura – México.

<sup>2</sup> Universidad del Bio Bio facultad de arquitectura, construcción y diseño departamento ciencias de la construcción escuela de ingeniería en construcción – Chile.

<sup>3</sup> Universidad autónoma de Barcelona – España.

<sup>4</sup> Universidad de Sonora división de ingeniería, departamento de ingeniería y minas.



## 2.2. Aspectos teóricos pertinentes

### 2.2.1. Unidades de albañilería

Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular. (Norma Técnica E.070 albañilería).

La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería. Se elabora de materias primas diversas: la arcilla, el concreto de cemento portland y la mezcla de sílice y cal son las principales. Se forma mediante el moldeo, empleado en combinación con diferentes métodos de compactación, o por extrusión. Finalmente, se produce en condiciones extremadamente disímiles: en sofisticadas fábricas, bajo estricto control industrial, o en precarias canchas, muchas veces provisionales, incluso al pie de la obra en la que será utilizada, mediante procedimientos rudimentarios y sin ningún control de calidad. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones particularmente el ancho y pesos que los hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Los bloques están hechos para manipularse con las dos manos, lo que ha determinado que en su elaboración se haya tomado en cuenta el que puedan pesar hasta unos quince kilos. (Gallegos & Casabonne, 2005).

#### 2.2.1.1. Características generales

Se denomina **ladrillo** a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina **bloque** a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo. (Norma Técnica E.070 albañilería).

Las unidades de albañilería a las que se refiere la norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima. Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial. (Norma Técnica E.070 albañilería).



### **2.2.1.2. Tipos de unidades**

#### **2.2.1.2.1. Unidad de albañilería sólida (o maciza)**

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano. (Norma Técnica E.070 albañilería).

En estas unidades las perforaciones o alveolos, necesariamente perpendiculares a la cara de asiento, no deben alcanzar más del 30% del área de sección bruta. (Gallegos & Casabonne, 2005).

En otras palabras, las unidades sólidas no son solo aquellas que no tienen alveolos, sino que son también aquellas que los tienen hasta un límite determinado. En la aplicación de las unidades de albañilería sólidas se consideran, para todas las propiedades, las de la sección bruta. (Gallegos & Casabonne, 2005).

Las unidades sólidas son las que deben emplearse en la construcción de muros confinados en la zona sísmica 3. Pueden ser de arcilla, concreto o de sílice-cal, y su fabricación puede ser artesanal o industrial. (Comentarios Norma Técnica E.070 albañilería).

#### **2.2.1.2.2. Unidad de albañilería hueca**

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano. (Norma Técnica E.070 albañilería).

En las unidades huecas el área alveolar excede el 30% del área bruta y los alvéolos tienen dimensiones tales que pueden llenarse con concreto líquido. En este caso todas las propiedades de la sección corresponden a las de la sección neta. (Gallegos & Casabonne, 2005).





#### **2.2.1.2.3. Unidad de albañilería alveolar**

Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados. (Norma Técnica E.070 albañilería).

Las unidades perforadas tienen» como las unidades huecas, más del 30% del área bruta ocupada por alvéolos; se diferencian de ellas por el hecho de que los tamaños de los alvéolos son reducidos (menores de 4 x 5 cm) y, consecuentemente, no pueden llenarse con concreto líquido. (Gallegos & Casabonne, 2005).

#### **2.2.1.2.4. Unidad de albañilería tubular (o pandereta)**

Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento, empleados para aligerar el peso de los muros. (Norma Técnica E.070 albañilería)

En estas unidades los alvéolos no son como en las unidades sólidas, huecas o perforadas, perpendiculares a la cara de asiento de la unidad, sino paralelos a esta. El tamaño de los alvéolos y la proporción del área de estos, en relación con el área bruta de la cara lateral de la unidad, varían grandemente en la producción industrial. Sus propiedades y sus características resistentes se determinan y consideran como si la unidad fuera sólida. (Gallegos & Casabonne, 2005).

#### **2.2.1.2.5. Unidad de albañilería apilable**

Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero. (Norma Técnica E.070 albañilería)

#### **2.2.1.3. Clasificación para fines estructurales**

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas. (Norma Técnica E.070 albañilería).

Tabla N° 1: Clasificación de ladrillos para fines estructurales

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f'_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm		
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 técnica E.070 albañilería.

### 2.2.2. Propiedades del ladrillo

Las propiedades principales de las unidades de albañilería deben entenderse en su relación con el producto terminado, que es la albañilería. En ese contexto, de acuerdo a Héctor Gallegos, las principales propiedades relacionadas son: (Gallegos & Casabonne, 2005).

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la tracción, medida como resistencia a la tracción indirecta o a la tracción por flexión.
- Succión o la velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.
- Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con la relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.
- Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.

Asimismo las principales propiedades relacionadas con la durabilidad son: (Gallegos Casabone, 2005).

- Resistencia a la compresión
- Absorción



- Absorción máxima
- Coeficiente de saturación

### **2.2.2.1. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es, por sí sola, la principal propiedad de la unidad de albañilería. Los valores altos de la resistencia a la compresión señalan buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición. Los valores bajos, en cambio, son muestra de unidades que producirán albañilería poco resistente y poco durable. Lamentablemente, esta propiedad es difícil de medir adecuadamente. De un lado, la gran variedad de formas y dimensiones de las unidades, principalmente de sus alturas, impide relacionar el resultado del ensayo de compresión con la verdadera resistencia de la masa componente. Esto se debe a los efectos de la forma y de la esbeltez en el valor medido y a la restricción, ocasionada por los cabezales de la máquina de compresión, que modifica el estado de esfuerzos en la unidad. (Gallegos & Casabonne, 2005).

La resistencia a la compresión, tal como se mide actualmente en el ensayo de compresión estándar, es función no solo de la resistencia intrínseca de la masa, sino de la altura del testigo y de su forma. Consecuentemente, los valores obtenidos son solo indicativos generales del comportamiento estructural de diferentes unidades cuando integran la albañilería asentadas con mortero o llenas con concreto líquido. Asimismo, su durabilidad debe ser juzgada acompañando al resultado del ensayo de compresión los valores de la absorción máxima y del coeficiente de saturación. (Gallegos & Casabonne, 2005).

### **2.2.2.2. Resistencia a la tracción**

En un muro sometido a compresión, la falla ocurre por tracción transversal de la unidad de albañilería, mientras ella se encuentra en una situación de cargas triaxiales. Esto demuestra la importancia del conocimiento de esta propiedad. Lamentablemente, su medición solamente puede hacerse, para obtener resultados significativos, en testigos razonablemente macizos. Dos ensayos



son usuales: el ensayo de tracción indirecta y el ensayo de tracción por flexión o de módulo de ruptura. Gallegos & Casabonne, 2005).

### **2.2.2.3. Succión**

La succión es la medida de la avidéz de agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es una de las características fundamentales para definir la relación mortero-unidad en la interface de contacto, y, por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería. (Gallegos & Casabonne, 2005).

Está demostrado que con unidades que tienen una succión excesiva al momento del asentado no se logra, usando métodos ordinarios de construcción, uniones adecuadas con el mortero. Cuando la succión es muy alta, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua que es absorbida por la unidad, se deforma y endurece, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la siguiente unidad. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua. (Gallegos & Casabonne, 2005).

Para reducir el fenómeno anterior, los ladrillos de arcilla hechos a máquina deben mojarse antes de su asentado. En el caso de utilizarse ladrillos artesanales deberán sumergirse en agua por lo menos una hora antes de asentado. (Abanto, 2013).

### **2.2.2.4. Absorción**

Medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería. (Gallegos & Casabonne, 2005)

### **2.2.2.5. Variabilidad dimensional**

La variabilidad dimensional define la altura de las hiladas, ya que se manifiesta con mayores variaciones, en la necesidad de aumentar el espesor de la junta de mortero por encima de lo estrictamente necesario por adhesión, que es de 9 a 12 mm, conduciendo a una albañilería menos resistente en compresión. (Gallegos & Casabonne, 2005).

### 2.2.2.6. Alabeo

EL efecto es semejante al de la variación de dimensiones. (Gallegos & Casabonne, 2005)

### 2.2.3. Ensayos

#### 2.2.3.1. Ensayo a la compresión de la unidad de albañilería

El ensayo de compresión se realiza usualmente en testigos de medias unidades secas, aunque algunas normas proponen o aceptan el ensayo de unidades enteras incluso dos medias unidades separadas por una junta de mortero. La carga de compresión se aplica perpendicular a las superficies de asiento. Si el testigo es muy irregular, es rellenado o alisado con pasta de cemento portland poco antes de colocar el recubrimiento – normalmente de azufre- , para lograr el contacto uniforme con los cabezales de la máquina de compresión. El ensayo de realiza hasta la rotura. (Gallegos & Casabonne, 2005)

La resistencia a la compresión ( $f_b$ ) se determina dividiendo la carga de rotura ( $P_u$ ) entre el área bruta ( $A$ ) de la unidad cuando esta es sólida o tubular y el área neta ( $A$ ) cuando es hueca o perforada; la norma peruana, sin embargo, considera siempre como divisor el área bruta, para evitar errores y poder comparar valores de resistencia directamente. Así se obtiene el valor: (Gallegos & Casabonne, 2005)

$$F'_b = \frac{P_u}{A}$$

Dónde:

- $F'_b$  = Resistencia a la compresión, ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
- $P_u$  = Fuerza de compresión, (Kg)
- $A$  = Área donde se aplica la fuerza de compresión ( $\text{cm}^2$ )

Usualmente la prueba consiste en dos o tres ensayos. Las pruebas se evalúan estadísticamente para obtener el valor característico que, generalmente, está referido a la aceptación de 10% de resultados de pruebas defectuosas. (Gallegos & Casabonne, 2005)

### 2.2.3.2. Ensayo de tracción de la unidad de albañilería

El ensayo de tracción por flexión se efectúa en la máquina de compresión sobre una unidad entera a la cual se apoya con una luz no mayor de 18 cm y se carga al centro. El resultado del ensayo es el módulo de ruptura ( $F'_{bt}$ ) que se obtiene de la fórmula siguiente: (Gallegos & Casabonne, 2005)

$$F'_{bt} = \frac{3 * P_u * l}{2 * b * T_b^2}$$

Dónde:

- $F'_{bt}$  = Módulo de ruptura, (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $P_u$  = Carga de rotura, (Kg)
- $l$  = Luz entre ejes de apoyo, (cm)
- $b$  = Ancho de la unidad, (cm)
- $T_b$  = Altura de la unidad, (cm)

### 2.2.3.3. Ensayo de succión de la unidad de albañilería

El ensayo de succión emplea testigos secados al horno cuando se trata de ensayos de investigación, y unidades en su estado natural cuando se trata de ensayos para evaluar la succión para un proceso constructivo. (Gallegos & Casabonne, 2005)

El espécimen, después de pesado ( $P_s$ ), se coloca sobre los soportes durante un minuto; luego se retira, se seca la superficie con un paño y se pesa ( $P_m$ ). La succión se obtiene de: (Gallegos & Casabonne, 2005).

$$Suc = \frac{(P_m - P_s) * 200}{A}$$

Dónde:

- $P_m$  = Peso mojado y secado con paño del ladrillo, (gramos)
- $P_s$  = Peso seco del ladrillo, (gramos)
- $A$  = Área de contacto de la unidad con el agua, (cm<sup>2</sup>).
- $Suc$  = Succión del ladrillo, en gramos/200cm<sup>2</sup>/minuto o simplemente, gramos.

Cuando se desea efectuar este ensayo a pie de obra se puede obviar la provisión de agua para mantener la inmersión constante de 3 mm de la unidad. La diferencia de volumen en centímetros cúbicos a 200cm<sup>2</sup> será la succión. (Gallegos & Casabonne, 2005)

#### **2.2.3.4. Ensayo de absorción de la unidad de albañilería**

El ensayo de absorción se mide la absorción de la unidad sumergida en agua fría durante veinticuatro horas. Para efectuar el ensayo las unidades se secan, se pesan y se someten al tratamiento antes dicho, y luego de eso se vuelven a pesar. Se llama absorción y absorción máxima a la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. El coeficiente de saturación es simplemente la relación entre esos dos porcentajes. (Gallegos & Casabonne, 2005)

$$Abs = \frac{(W_{sat.} - W_{seco}) * 100\%}{W_{seco}}$$

Dónde:

Abs = Porcentaje de Absorción (%)

Wseco = Peso seco del ladrillo (gramos)

Wsat = Peso saturado en agua del ladrillo (gramos)

#### **2.2.3.5. Ensayo de variación dimensional del ladrillo**

La prueba de Variación Dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Debe hacerse notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte. (San Bartolomé, 1994).

Se calcula la variación en porcentaje de cada dimensión restante de cada dimensión especificada, el valor obtenido de promediar la dimensión de todas las muestras dividiendo este valor por la dimensión especificada y multiplicado por 100.

$$V = \frac{DE - MP}{DE} * 100$$

En donde:

V: Variación de dimensión en porcentaje.

DE: Dimensión especificada en milímetros.

MP: Medida promedio en cada dimensión en milímetros

#### **2.2.3.6. Ensayo de alabeo de la unidad de albañilería**

El mayor alabeo (concauidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta; asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad. (San Bartolomé, 1994).

Los aparatos a utilizar son: una varilla de acero con borde recto, una regla graduada de acero con divisiones desde un extremo, de 1 mm, o alternativamente una cuña de medición de 60 mm de longitud por 12.5 mm de ancho por 12.5 mm de espesor en un extremo, el que va reduciéndose hasta llegar a cero en el otro extremo, la cuña deberá estar graduada y numerada en divisiones de 1 mm, y una superficie plana de acero o vidrio, no menor de 300 mm x 300 mm y plana en el rango de 0.025 mm. Se usa como especímenes las unidades seleccionadas para determinar el tamaño, a las cuales se les eliminará el polvo adherido a las superficies con una brocha. (NTP 399.613, 2005).

En los casos en que la distorsión a ser medida corresponde a una cóncava, se colocará la varilla de borde recto longitudinal o diagonalmente a lo largo de la superficie, a ser medida adoptándose la ubicación que da la mayor desviación de línea recta. Escoger la distancia mayor de la superficie del espécimen a la varilla de borde recto, usando la regla de acero o cuña para medir esta distancia con una aproximación de 1 mm y registrarla como la distorsión cóncava de la superficie. (NTP 399.613, 2005).

Cuando la distorsión a ser medida es la de un borde y es cóncava, colocar la varilla de borde recto entre los extremos del borde cóncavo a ser medido.





Seleccionar la distancia más grande desde el borde del espécimen a la varilla con borde recto, usando la regla o cuña, medir esta distancia con una aproximación de 1 mm y se registra como la distorsión cóncava del borde. (NTP 399.613, 2005).

Cuando la distorsión a ser medida es la de una superficie convexa, colocar el espécimen con la superficie convexa en contacto con una superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes de la superficie plana. Usando la regla de acero o cuña, medir la distancia con una aproximación de 1 mm de cada una de las 4 esquinas desde la superficie plana. Registrar el promedio de las 4 medidas como la distorsión convexa del espécimen. (NTP 399.613, 2005).

Cuando la distorsión a ser medida es la de un borde convexo, colocar la varilla de bordes rectos entre los extremos del borde convexo. Seleccionar la distancia más grande del borde del espécimen a la varilla, usando la regla de acero o cuña, medir esta distancia con una aproximación de 1 mm y registrarla como distorsión convexa del borde. (NTP 399.613, 2005).

#### **2.2.4. Arcilla**

Desde el punto de vista geológico las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la Tierra, y siendo más específico se puede decir que son sedimentos geológicos que provienen de la descomposición de rocas ricas en sílice y alúmina, principalmente de feldespato, inducida por los agentes atmosféricos (agua, energía luminosa, vientos, etc.). Pues bien, esta no es la única definición de este material, sino que también tiene otras, como se muestra a continuación: (Mella Stappung, 2004).

**a).- Petrológica:** Arcilla es una roca pelítica blanda, que se hace plástica al contacto con el agua, siendo frágil en seco, y con gran capacidad de absorción.



**b).- Mineralógica:** Arcillas son silicatos alumínicos hidratados (minerales secundarios) que provienen del intemperismo químico de los feldespatos. También existen arcillas de origen hidrotermal, que provienen de transformación mayormente de rocas magmáticas, ácidas e intrusivas, están frecuentemente asociados a filones.

**c).- Granulométricamente:** Las arcillas son los fragmentos naturales más finos (< 2 micras o 1/256 mm).

Generalmente en la naturaleza encontramos las arcillas mezcladas con otros materiales como los limos, arenas (estas con alto contenido de cuarzo), humedad y material orgánico, todo este conjunto de materiales se denominan "material arcilloso". (Díaz & Zedano, 2006).

#### **2.2.4.1. Clasificación industrial de las arcillas**

##### **2.2.4.1.1. Arcillas expansivas (esmeclitas)**

Las arcillas expansivas o esmeclitas también se les conoce con el término comercial de ' bentonita'; este último término fue aplicado primera vez por Knight, para un particular tipo de arcilla plástica altamente coloidales, halladas en la localidad de Fort Benton, en capas del Cretáceo de Wyoming (Estados Unidos); ésta tenía la particularidad de hincharse varias veces y aumentar su volumen original cuando se ponían en contacto con el agua, y además formar geles tixotrópicos cuando se les añadía agua en pequeñas cantidades resultando así una masa gelatinosa y voluminosa. (Díaz & Zedano, 2006).

Se define las esmeclitas como un mineral arcillosos de grano muy fino cristalino, derivado generalmente por devitrificación y alteración química de ceniza volcánica o tobas volcánicas, cuyos principales constituyentes son el mineral arcilloso llamado 'montrnorillonita' en menor proporción, (no menor de 85%) y "beidellita" en menor proporción Otros minerales arcillosos tales como illita y la caolinita están presentes en muchas bentonita en cantidades variables (5% a 10% del total); la cristobalita también se encuentra, pero en menor proporción que las dos anteriores. (Díaz & Zedano, 2006).



Este tipo de arcillas son filosilicatos hinchables a tres capas que pueden incorporar cationes inorgánicos, orgánicos, y líquidos entre capas. El mineral más frecuente es la montmorillonita. (Díaz & Zedano, 2006).

En ciertas esmectitas se han identificado zeolitas, micas, feldspatos, cuarzo, piroxeno, circón, atapulgita, sepiolita, calcita, etc y en general pertenecientes a rocas ígneas y materiales detríticos. (Díaz & Zedano, 2006).

#### **2.2.4.1.2. Arcillas refractarias**

Estas arcillas se caracterizan por ser resistentes al calor. El punto de fusión de cada arcilla refractaria determina su aplicación particular en la industria de materiales refractarios. Las materias primas cerámicas no tienen un punto de fusión definido, se funden dentro de un margen de temperaturas. (Ramírez Carrión, 2009).

Las "fire clays" o arcillas refractarias propiamente dichas, consisten esencialmente en caolinita desordenada y además halloysita, illita; suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no quemen de color blanco. Se distinguen estas arcillas por sus altos contenidos de cuarzo. (Ramírez Carrión, 2009).

Se llaman arcillas refractarias a aquellas que pueden resistir a temperaturas de 1,500° C; arcillas con un punto de reblandecimiento de más de 1,790° C se designan arcillas altamente resistentes al fuego. (Ramírez Carrión, 2009).

La resistencia al fuego aumenta con crecientes contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, así arcillas altamente refractarias contienen 38 - 42 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, < 2 -3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y deben presentar menores pérdidas por calcinación. (Ramírez Carrión, 2009).

#### **2.2.4.1.3. Arcillas caoliníticas**

Con este término se asigna a las arcillas que según su tipo estructural mineralógico, tienen dos capas (filosilicatos dioctaédricos), siendo el mineral la caolinita y sus formas polimórficas dickita y nacrita. (Díaz & Zedano, 2006).

Desde el punto de vista técnico, el concepto de caolín se emplea para productos naturales de partículas muy finas, que consisten principalmente en minerales del tipo del caolín, como la caolinita, hayosita, dickita y nacrita. Asociados a estos minerales se pueden presentar cuarzo, mica, esmectitas, feldspatos. Se incluyen a las "ball - clays" ó arcillas caoliníferas plásticas y dispersables en agua, estas generalmente son grises o negras, pero queman de color blanco; son los materiales más interesantes para la fabricación de cerámica blanca de gran calidad. (Díaz & Zedano, 2006).

#### **2.2.4.1.4. Arcillas comunes**

Arcillas comunes (arcilla cerámica, arcilla para ladrillos o arcilla para construcción), es un material arcilloso denominado mayormente arcillas comunes, que consiste en unas mixturas de diferentes minerales arcillosos generalmente illita y esmectita, y otros minerales. (Ramírez Carrión, 2009).

Las arcillas comunes debido al alto contenido de fundentes (álcalis, compuesto de hierro, cal), inician a fundirse (sinterizar) a temperaturas de 950° a 1,200 °C. (Ramírez Carrión, 2009).

La arcilla común contiene tamaños de grano muy irregulares, desde partículas <0.002 mm. Mayoritariamente minerales de arcilla, vía las fracciones limosas (0.002 - 0.06 mm) y arenosas (0.06 - 2.0 mm). La arcilla común tiene con frecuencia compuestos de hierro, dando colores marrón - amarillentos a marrones y carbonatos. (Ramírez Carrión, 2009).

Las arcillas comunes no son tan plásticas como las esmectitas, arcillas caoliníticas y otras. (Ramírez Carrión, 2009).

#### **2.2.4.1.5. Arcillas especiales**

Se consideran a la paligorskita (attapulgita) y sepiolita (espuma de mar), la paligorskita al igual que la sepiolita son minerales arcillosos raros, aunque han sido conocidos desde la antigüedad. También son denominados "hormitas"; estos tipos de arcilla son muy semejantes a las esmectitas. Las hormitas son minerales arcillosos aciculares que presentan una red estereocristalina con

espacios vacíos canaliformes. La sepiolita cuando se presenta como una masa compacta y resistente se le denomina "espuma de mar". (Díaz & Zedano, 2006).

#### 2.2.4.2. Mineralogía de las arcillas

Las arcillas son silicatos que pertenecen al grupo de los filosilicatos. Este importante grupo, se caracteriza porque sus minerales tienen hábito hojoso o escamoso, una dirección de exfoliación dominante. Por lo general los minerales del grupo de los filosilicatos son blandos, de peso específico relativamente bajo y las laminillas de exfoliación pueden ser flexibles. (Díaz & Zedano, 2006).

La arcilla petrográficamente, está constituido por un cierto número de diferentes minerales que están en proporciones variables; así el término arcilla, se emplea a un material de grano fino, terroso, que se hace plástico al mezclarse con el agua. Los estudios de Difracción de Rayos X, han demostrado que están constituidas predominantemente por un grupo de sustancias cristalinas denominadas, minerales de arcilla (silicatos aluminicos hidratados). La arcilla puede estar formada por un único mineral de arcilla, pero por lo general hay varios minerales mezclados como los feldespatos, cuarzo, carbonatos, micas. (Díaz & Zedano, 2006).

#### 2.2.4.3. Composición mineralógica de las arcillas comunes

Tabla N° 2: Arcillas Comunes para Ladrillos

Caolinita	0 - 15%
Sericita + Illita	10 - 20%
Esmectita	0 - 5%
Clorita	0 - 5 %
Cuarzo	30 - 55 %
Feldespato	0 - 13%
Calcita	0 - 10%
Dolomita + Ankerita	< 1 %
Goethita	<1 %
Hematita	<1 %
Siderita	<1 %
Pirita	<1 %
Yeso	<1 %
Hornblenda	<1 %
Resto, amorfo bajo rayos X	1 - 10%

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

#### 2.2.4.4. Composición química de las arcillas comunes

Tabla N° 3: Composición Química para Ladrillos (huecos y macizos)

Si O <sub>2</sub>	49.20 - 68.00%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.20 - 19.40%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.7 - 8.0%
MgO	0.5 - 2.9%
CaO	0.3 - 9.4 %
Na <sub>2</sub> O	0.3 - 1.2 %
K <sub>2</sub> O	1.3 - 4.9 %
Ti O <sub>2</sub>	0.3 - 1.7 %
CaCO <sub>3</sub>	0.0 - 18.0 %
Mat. 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)

#### 2.2.4.5. Análisis químico cantera Puca Orcco

Tabla N° 4: Análisis Químico cantera Puca Orcco

CODIGO DE MUESTRA	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	H <sub>2</sub> O %	PxC %
305059	55.30	15.2	0.64	5.89	0.14	4.57	3.48	1.89	2.95	3.35	6.41

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

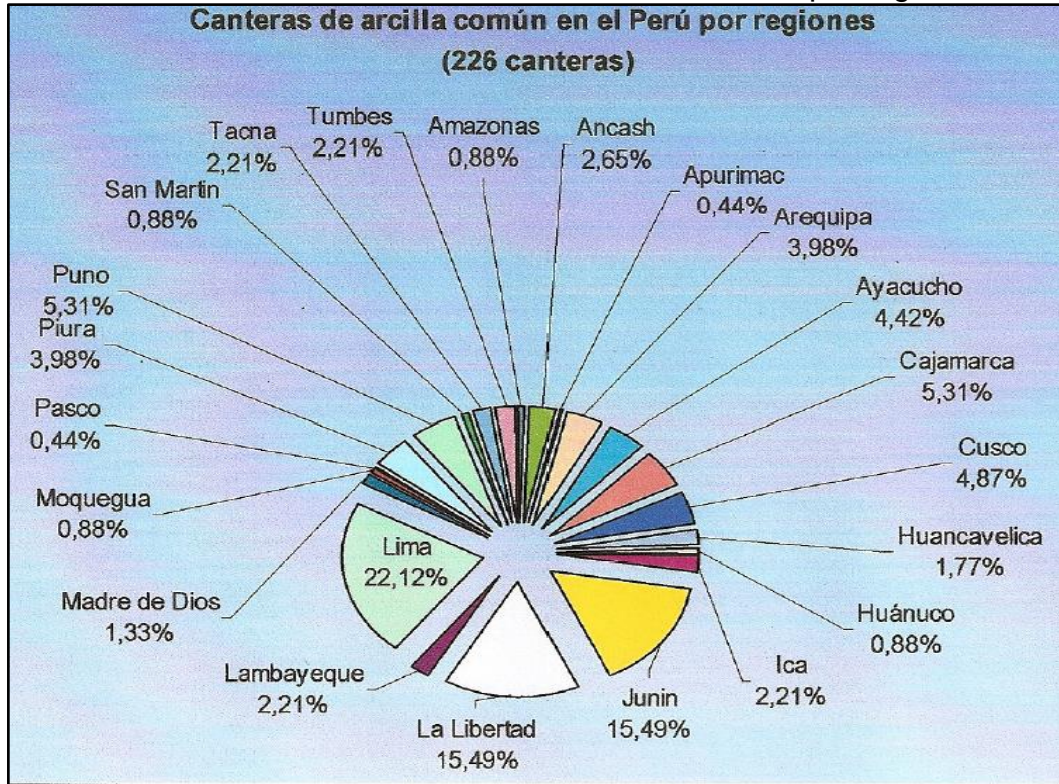
#### 2.2.4.6. Canteras en el Perú

De acuerdo a la información consultada de la dirección de Energía y Minas y el mercado, se ha localizado 226 canteras de materiales arcillosos o arcillas comunes distribuidas en 22 regiones del país. (Díaz & Zedano, 2006).

Estas materias primas se explotan desde épocas prehispánicas, actualmente se siguen extrayendo para elaborar productos (ladrillos, tejas, adobes, cercos, carreteras) dirigidos a la construcción mayormente local y regional. En el futuro se prevé que la demanda aumentara debido a la expansión urbana y de la infraestructura en todo el país. (Díaz & Ramírez, 2009).



Ilustración 1: Canteras de arcilla común en el Perú por regiones



Fuente: Atlas Minero, anuarios del MEM, Estudio de los recursos Minerales Franjas 1, 2,3 y 4 INGEMMET, datos recopilados en el campo

### 2.2.5. Puzolana

Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica que proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde esta roca ya era explotada en tiempos de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la puzolana de origen natural, podían tener usos sustitutos. (Díaz & Ramírez, 2009).

La norma ASTM C 618 y N.T.P. 334.090 define a la puzolana de la siguiente manera, “Es un material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas”. (Villegas Martínez, 2012)

Se incluyen bajo este nombre productos bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica, y que tienen en común lo que se denomina «actividad puzolánica». Por ejemplo, en el caso de los cementos se refiere al ataque lento de la sílice y de la alúmina en disolución dentro de las puzolanas por parte de la portlandita (CH) formada in situ cuando se hidratan los componentes del clinker. (Díaz & Ramírez, 2009).

Proceden de fragmentos volcánicos piroclásticos, y su composición puede ser riolítica, traquítica, andesítica o basáltica. Otras son sedimentos de rocas sedimentarias de composición silico-alumínicos descompuestas. (Díaz & Ramírez, 2009).

Las puzolanas son sustancias que contienen minerales silíceos y aluminosos que si bien no tienen por sí mismos cualidades cementantes, son capaces de reaccionar con el hidróxido cálcico (activador) en presencia del agua a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes, capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico. (Díaz & Ramírez, 2009).

#### 2.2.5.1. Composición mineralógica y química

Están compuestos de silicatos aluminos, alcalinos hidratados, análogos a las arcillas, en forma vítrea o cristalina, y hay quien afirma que sus propiedades se deben a la sílice y alúmina libre. (Díaz & Ramírez, 2009).

Tabla N° 5: Composición Química de las Puzolanas

Sílice	42 - 66%
Alúmina	14 - 20%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 20%
CaO	3 - 10%
MgO	1 - 6%
Álcalis	2 - 10%
H <sub>2</sub> O	1 - 15%

Fuente: (Orus, 1985)



Tabla N° 6: Composición Química de las Puzolanas de la Cantera Ccocha (Raqchi)

	Muestra A	Muestra B	Muestra C
SiO <sub>2</sub>	64.73	63.62	64.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.29	14.18	13.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.55	3.47	3.63
CaO	6.18	6.42	6.72
MgO	3.62	2.31	2.38
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.49	0.53
K <sub>2</sub> O	3.45	3.48	3.17
SO <sub>3</sub>	1.19	1.85	2.03
Carbón	0.92	1.02	0.99
PPC	2.67	2.63	2.55
Total	99.97	99.67	99.8

Fuente: (Consortios Cemento Sur S.A. Yura)

### 2.2.5.2. Clasificación de puzolanas

Según la NTP 334.104 y ASTM C 618 (Cementos. Adiciones minerales del concreto: puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante. Especificaciones). Definen tres clases de cenizas volantes:

**Clase F:** Ceniza volante producidas por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.

**Clase N:** Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.

**Clase C:** Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias.

#### 2.2.5.2.1. Puzolanas naturales

Proceden de las rocas eruptivas volcánicas como riolitas, traquitas, andesitas y basaltos, entre otras que en forma de cenizas o escorias han adquirido caracteres de una roca deleznable. (Díaz & Ramírez, 2009).



Las puzolanas naturales constan fundamentalmente de una masa vítrea que cementa fragmentos de pómez, escorias, pequeños cristales de augita, mica, piroxenos, etc. Se producen por un enfriamiento brusco de la lava. Se clasifican en básicas si contienen entre 40 y 55% de  $\text{SiO}_2$ , neutras de un 55 a un 65% y ácidas de 65 a 70%. (Díaz & Ramírez, 2009).

Las rocas intrusivas alteradas también pueden adquirir por alteración la condición de puzolanas. Asimismo, rocas sedimentarias como lutitas, dolomitas etc. con importantes concentraciones de Al- Si pueden responder a la denominación de puzolanas. (Díaz & Ramírez, 2009).

**Cenizas volcánicas**, se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo. (Villegas Martínez, 2012)

**Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)**, producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética. (Villegas Martínez, 2012)

**Tierras de diatomeas (diatomitas)**, puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones síliceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas). (Villegas Martínez, 2012)

#### 2.2.5.2.2. Puzolanas artificiales

**a).- Cenizas volantes:** Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad. (Díaz & Ramírez, 2009).

**b).- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:** Al calentar las arcillas y pizarras y al enfriarlas rápidamente. Al calcinar las arcillas se deshidrata la caolinita (silicato aluminico hidratado) y se obtiene anhidro con una pequeña proporción en la relación sílice/alúmina y al amasarlo con la cal dan silicato monocálcico y aluminatos. (Díaz & Ramírez, 2009).



**c).- Escorias de fundición:** Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa. (Díaz & Ramírez, 2009).

**d).- Cenizas de residuos agrícolas:** La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión. (Díaz & Ramírez, 2009).

### 2.2.5.3. Condiciones y ambientes de formación

Durante las erupciones volcánicas se produce la eyección desde el conducto volcánico hacia la atmósfera del magma fundido, que está compuesto principalmente por aluminosilicatos. La violencia de la erupción causa la formación de pequeñas partículas que experimentan un rápido enfriamiento dando lugar a la formación de compuestos vítreos (estructura cristalina desordenada). La fase cristalina es muy minoritaria y su naturaleza y cantidad dependen de la clase de magma que ha dado origen a la puzolana. (Díaz & Ramírez, 2009).

Durante la erupción, los gases que acompañan a la explosión forman pequeñas burbujas que dan a la materia solidificada una textura porosa y consecuentemente una alta área superficial, que facilita las subsiguientes reacciones químicas. Al tener los aluminosilicatos una estructura desordenada, estos permanecen estables frente a la exposición de una solución de cal, siendo la base de las propiedades puzolánicas de los materiales vítreos. (Díaz & Ramírez, 2009).

Las erupciones volcánicas no explosivas no generan puzolanas del tipo anterior, pero dan origen a cenizas volcánicas que al enfriarse más lentamente tienen un menor contenido de fase vítrea. También se produce un efecto menor de «burbujeo» de los gases, lo que causa que tengan una estructura menos porosa. Todo ello trae como consecuencia que las cenizas volcánicas tengan una menor reactividad hacia la cal en comparación con las puzolanas de las erupciones volcánicas explosivas. (Díaz & Ramírez, 2009).

A continuación se muestran algunas fotografías tomadas al microscopio, de granos de puzolana, en las cuales se puede apreciar la formación de pequeños poros o pequeñas cavidades que le dan la característica porosa a las puzolanas.

Ilustración 2: Superficie de un grano de puzolana amplificado 60 veces.



Fuente: (Mella, 2004)

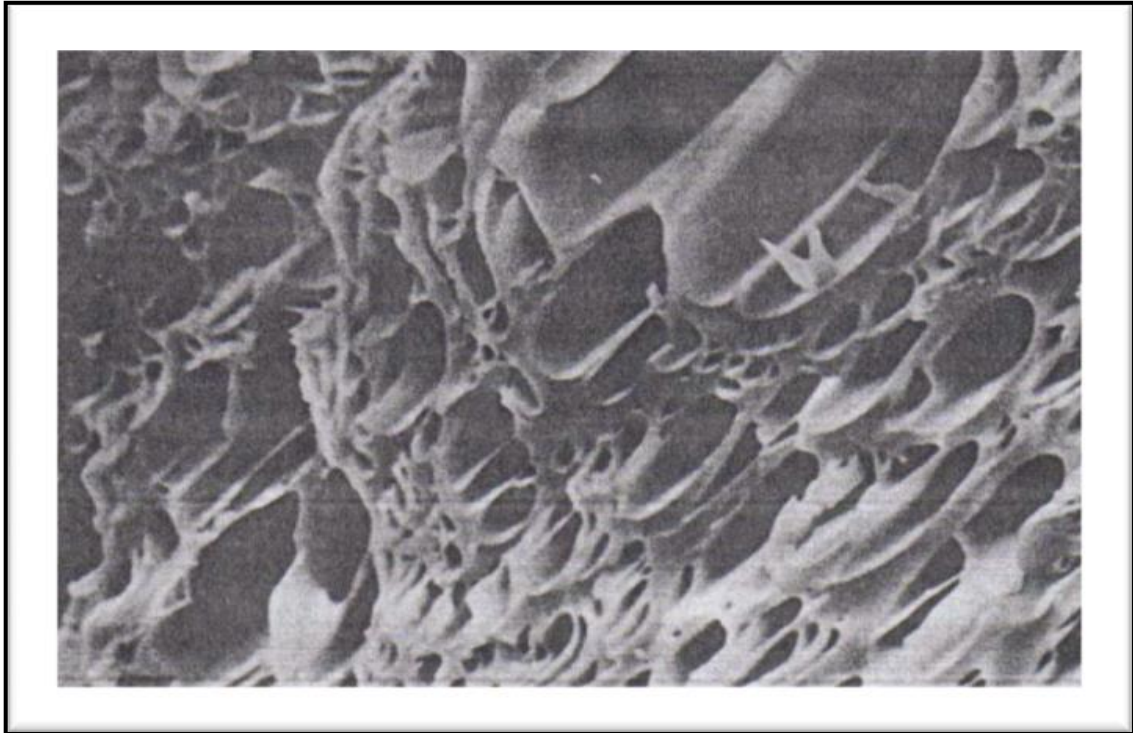
Ilustración 3: Superficie de un grano de puzolana amplificado 150 veces.



Fuente: (Mella, 2004)

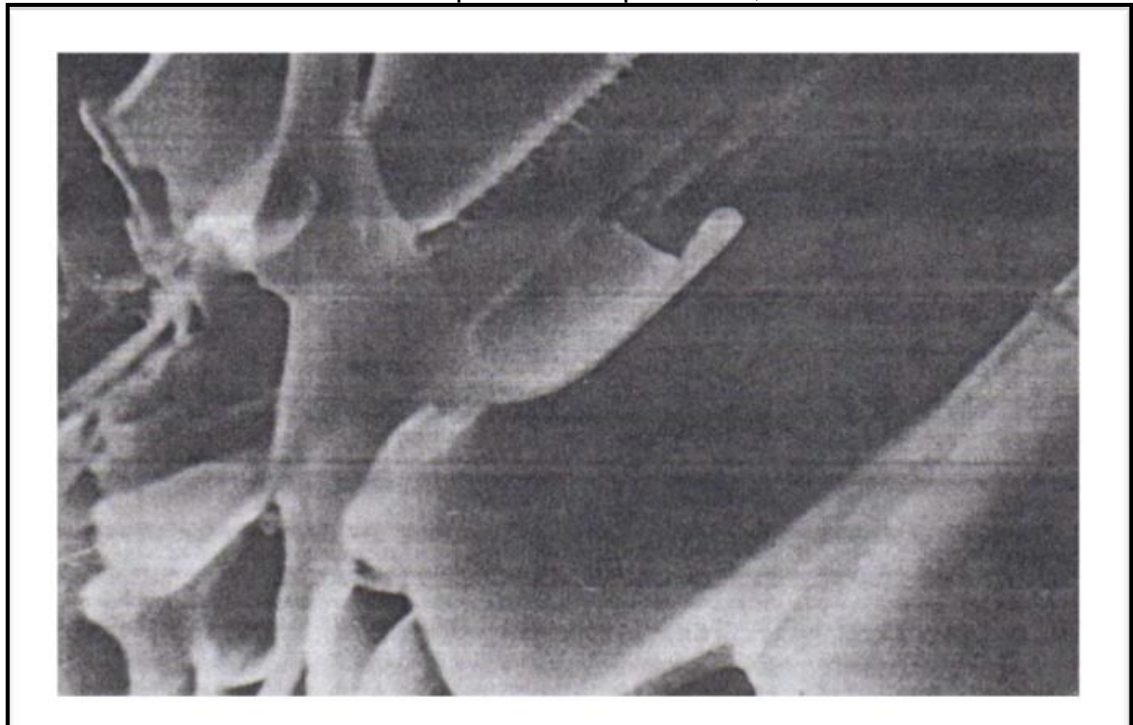


Ilustración 4: Se observa la formación de pequeños poros en forma de canales, aumento 1200 veces.



Fuente: (Mella, 2004)

Ilustración 5: Detalle de los poros de la puzolana, aumento 3000 veces.



Fuente: (Mella, 2004)

#### 2.2.5.4. Usos de la puzolana

La puzolana es un material silicoso o silico-aluminoso, que puede tener poca o ninguna actividad hidráulica, pero que al ser dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. La puzolana es utilizada en los siguientes subsectores de la economía. (Díaz & Ramírez, 2009).

##### 2.2.5.4.1. En construcción

**a).- Industria del cemento puzolánico.-** Las puzolanas se emplean como adiciones activas al cemento desde hace décadas. El cemento puzolánico se obtiene de la mezcla del Clinker con la puzolana. Es de fraguado lento, por lo que es idóneo para su utilización en aplicaciones de albañilería. Una de sus propiedades más importantes es su especial resistencia al ataque del agua del mar, lo que lo hace aconsejable para las construcciones costeras. (Díaz & Ramírez, 2009).

El cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de Clinker portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe ser entre 15% y 40% del peso total. (Díaz & Ramírez, 2009).

En las construcciones generales de concreto se emplea cemento portland puzolánico tipo IP, cuyo porcentaje adicionado de puzolana se encuentra entre 15% y 40%, y el cemento portland puzolánico modificado tipo IPM, que necesita menos de 15% de puzolana adicionada. En cuanto al cemento hidráulico modificado con puzolana (tipo MP-RTCR) consiste en una mezcla homogénea de clinker, yeso y puzolana (y otros componentes minoritarios), producida por molienda conjunta o separada. (Díaz & Ramírez, 2009).

**b).- Concretos.-** Generalmente los hormigones elaborados con este tipo de cementos obtienen altas resistencias finales y puede apreciarse cuando se ensayan probetas luego de 56 o 90 días de edad. Si bien este cemento es apto para casi cualquier tipo de obra, cuando el material resulta de comprobada



eficacia, es especialmente recomendado para aplicaciones que requieran de propiedades especiales de durabilidad como ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación. (Díaz & Ramírez, 2009).

**c).- Concreto compactado con rodillo.-** Es probablemente el desarrollo más importante de la tecnología de presas en los últimos años, pues ha ganado aceptación alrededor del mundo en un relativo corto tiempo debido a su bajo costo derivado en parte por su rápido modo de construcción. El concreto compactado con rodillo suele usarse también en la construcción de pavimentos y áreas de almacenamiento. La rapidez de la puesta en obra, el relativo bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (puzolanas, etc.) explican por qué este material es económicamente atractivo para la industria de la construcción. El uso de puzolana en la mezcla de concreto compactado con rodillo puede servir como reemplazo parcial del cemento para reducir la generación del calor y los costos, y como un aditivo para el aumento de finos y para mejorar la maniobrabilidad al dosificar mezclas para volúmenes mínimos de pasta. (Díaz & Ramírez, 2009).

Una de las principales funciones de la puzolana o cualquier otro material fino apropiado es la de ocupar espacio que de otra forma sería ocupado por el cemento o el agua. Si este espacio es ocupado por agua, obviamente dará como resultado una reducción en la resistencia del concreto. La actividad puzolánica continúa después de varios años, lo que indica que las puzolanas pueden ocupar espacio y también contribuir al desarrollo de la resistencia a largo plazo. (Díaz & Ramírez, 2009).

**d).- Áridos ligeros.-** Para la fabricación de hormigones de baja densidad y para la producción de prefabricados, con la ventaja de un aligeramiento en su peso medio y una más fácil maniobrabilidad de los productos, bloques, bovedillas, tuberías, etc. (Díaz & Ramírez, 2009).

#### 2.2.5.5. Aislante térmico

La conductividad de la puzolana en estado natural, con valores medios inferiores a 0,244 W/m.°K, hace de ella un aislante de sumo interés. (Díaz & Ramírez, 2009).

#### 2.2.5.6. Filtros naturales

La gran permeabilidad de los materiales obtenidos permite el filtraje de líquidos, con la gran ventaja de presentar una mayor porosidad en las granulometrías gruesas. (Díaz & Ramírez, 2009).

#### 2.2.5.7. Absorbentes

Su capacidad de absorción de líquidos permite su empleo como absorbente en la industria, así como en preparados olorosos (tierras volcánicas olorosas). (Díaz & Ramírez, 2009).

#### 2.2.5.8. Canteras de puzolana en el Perú por regiones, en el año 2004

Tabla N° 7: Canteras de Puzolana en el Perú por Regiones

REGIÓN	N° DE CANTERAS
Amazonas	1
Arequipa	3
Ayacucho	1
Cusco	1
Puno	3
Tacna	3
Total	12

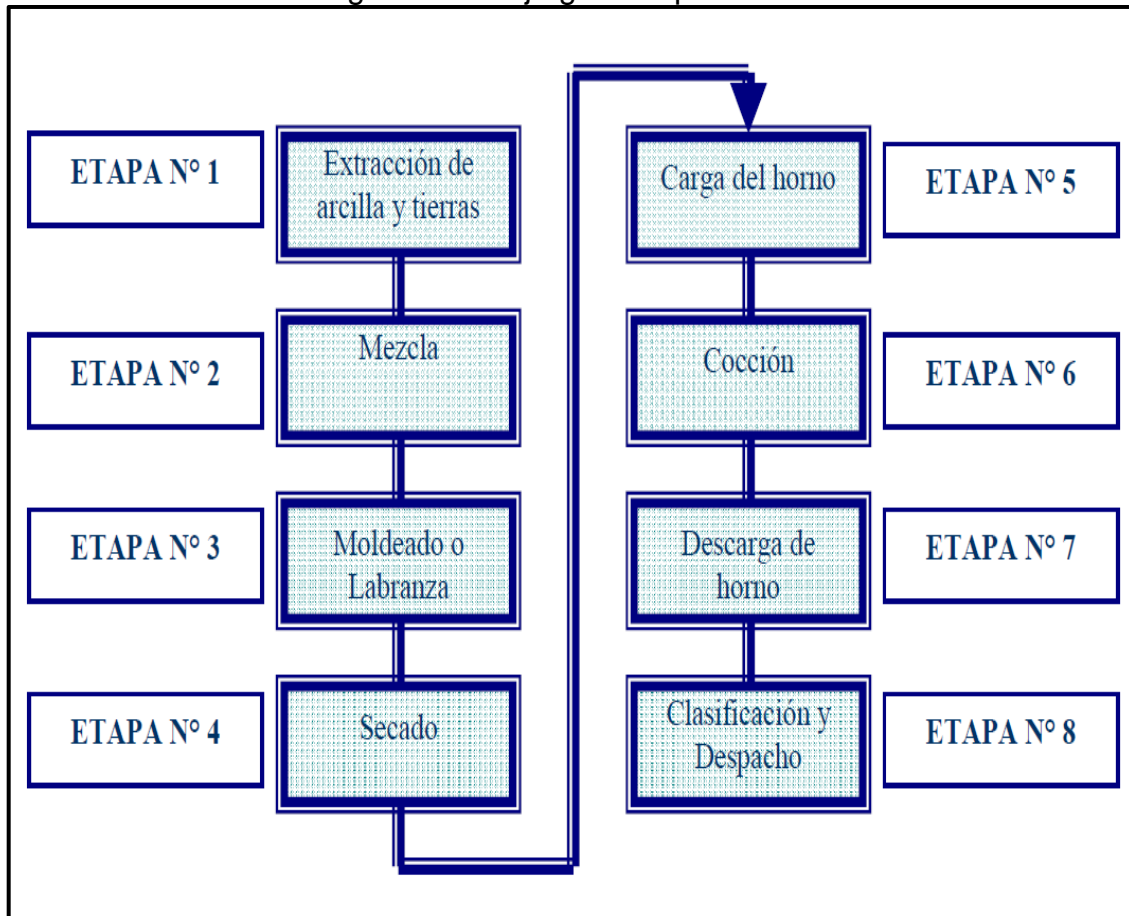
Fuente: (Díaz, 2006)

#### 2.2.6. Proceso de fabricación del ladrillo

De acuerdo a la Guía de Buenas Practicas Ladrilleras Artesanales (aprobado por Resolución Ministerial N°102-2010-PRODUCE del 19.04.210) el proceso de fabricación artesanal consta de las siguientes etapas:



Ilustración 6: Diagrama de flujo general para la actividad ladrillera



Fuente: Guía De Buenas Prácticas Ladrilleras Artesanales

### 2.2.6.1. Extracción de arcilla y tierras

La extracción de Arcilla y Tierra Arenosa se puede realizar en lugares alejados de la zona de producción o en la misma zona de producción. El procedimiento de extracción para los ladrilleros artesanales es por excavación manual de canteras con y sin denuncia. La mediana y gran industria ladrillera (de 500 a mil millares por mes) extrae el material de canteras con denuncia minero utilizando equipo pesado de remoción de tierras. El material tal como es extraído se carga en camiones y se transporta a la zona donde están los hornos de cocción. (Ministerio de la Producción, 2010).

### 2.2.6.2. Mezcla

**a).- Mezclado a Mano.-** La mezcla a mano se realiza al final del día luego de concluir las labores de labranza. Con ayuda de una pala o lampa se prepara en las fosas de mezclado, una premezcla de arcilla y arena humedecidas amasando con manos y pies hasta que desaparezcan los terrones más



grandes de arcilla. Algunos artesanos añaden otros agregados que pueden ser aserrín, cáscara de arroz o de café, cenizas. Se deja reposar esta masa hasta el día siguiente para que los terrones más pequeños se deshagan, la mezcla se vuelva consistente y adquiera la textura requerida para el moldeo o labranza. (Ministerio de la Producción, 2010).

Las impurezas de la arcilla y tierra como raíces de plantas, restos de arbustos y piedras son separadas manualmente. Algunas pocas veces se hace pasar la arena por un tamiz para eliminar impurezas u obtener un grano más homogéneo. La materia prima no se selecciona ni es sometida a molienda para control granulométrico. La formulación y características finales de la mezcla son definidas en base a su consistencia según la experiencia, necesidades o disponibilidad de materiales de cada artesano. (Ministerio de la Producción, 2010).

**b).- Mezclado mecánico.-** Esta mezcla se efectúa utilizando una mezcladora o batidora accionada por algún tipo de energía que puede ser eléctrica, mecánica o de tracción animal (buey, caballo, acémila), lo que elimina el amasado a mano, reduce el tiempo de amasado y eleva el rendimiento. (Ministerio de la Producción, 2010).

El procedimiento no requiere tiempo de reposo. La premezcla de arcilla y arena humedecidas, junto con otros agregados si fuera el caso, se vierte en el acceso o tolva de entrada de la mezcladora donde se amasa hasta obtener la consistencia requerida; la mezcla obtenida se puede volver a pasar cuantas veces sea necesaria agregando arcilla, arena, agua. (Ministerio de la Producción, 2010).

La composición de la mezcla es variable en las diferentes zonas del país y depende mayormente de la calidad de la arcilla como también de su disponibilidad (distancia de las canteras al centro de producción). Por ejemplo, en Arequipa el contenido de arcilla en la mezcla puede ser de 30%, mientras que en el Cusco llega hasta el 70%. (Ministerio de la Producción, 2010).

En Piura se han realizado pruebas introduciendo en la mezcla aserrín de madera y ceniza de cáscara de arroz, obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro siguiente: (Ministerio de la Producción, 2010).

Tabla N° 8: Valores de resistencias con diferentes mezclas

Clase de ladrillo	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
King kong tradicional	Con arena	75,5	1,61
King kong tradicional	Con aserrín	42,5	1,32
King kong tradicional	Con ceniza	50,5	1,45
King kong extruido	Con arena	169,0	1,47
King kong extruido	Con ceniza	160,5	1,35

Fuente: Programa de Energía de ITDG-Perú, Uso de cascarilla de arroz como fuente energética en Ladrilleras

### 2.2.6.3. Moldeo o labranza

El material mezclado se moldea para darle la forma de ladrillo requerido: sólidos (King Kong) y huecos, (pasteleros, para techo, etc.). Se puede hacer en forma manual o también con extrusoras mecánicas. (Ministerio de la Producción, 2010).

**a).- Moldeo manual.-** Se utilizan moldes metálicos o de madera. Los moldes no tienen tamaños estandarizados, difieren de un artesano a otro y de una región a otra. Generalmente utilizan arena muy fina (cenicero) como desmoldante para facilitar el retiro de la mezcla del molde. (Ministerio de la Producción, 2010).

En condiciones climáticas normales, o sea sin lluvias, un labrador rinde semanalmente en jornada de 8 horas de lunes a sábado por cada tipo de ladrillo lo siguiente: (Ministerio de la Producción, 2010).

- Ladrillos King Kong por semana 2400 – 2500 ladrillos /hombre
- Ladrillos Pandereta por semana 1200 – 1400 ladrillos / hombre



Ilustración 7: Proceso de elaboración y moldeo del ladrillo



Molde metálico para ladrillos sólidos (Arequipa)



Molde de madera o gavera (Cuzco)



Gavera para ladrillos pandereta (Piura)



Combinación mezcladora y extrusora de accionamiento eléctrico (Cuzco)

Fuente: Guía De Buenas Prácticas Ladrilleras Artesanales



**b).- Moldeo mecánico.-** El moldeo mecánico permite incrementar la densidad del ladrillo y por tanto su resistencia. Se emplean desde prensas de moldeo accionadas manualmente capaces de producir 60 ladrillos por hora con moldes individuales, hasta extrusoras industriales que pueden producir más de un millar por hora. El punto intermedio está representado por pequeñas máquinas extrusoras manuales que pueden producir entre 120 y 400 ladrillos por hora. Estas máquinas también pueden producir ladrillos tipo pandereta y techo sólo con un cambio de molde. (Ministerio de la Producción, 2010).

La extrusora es una máquina accionada eléctricamente o por motor a diesel o gasolina, que se compone de cuatro partes principales: (Ministerio de la Producción, 2010).

- Manivela y mecanismo de empuje
- Tanque para llenado de la mezcla
- Molde extrusor que es intercambiable según el tipo de ladrillo a fabricar
- Mesa de corte de ladrillos.

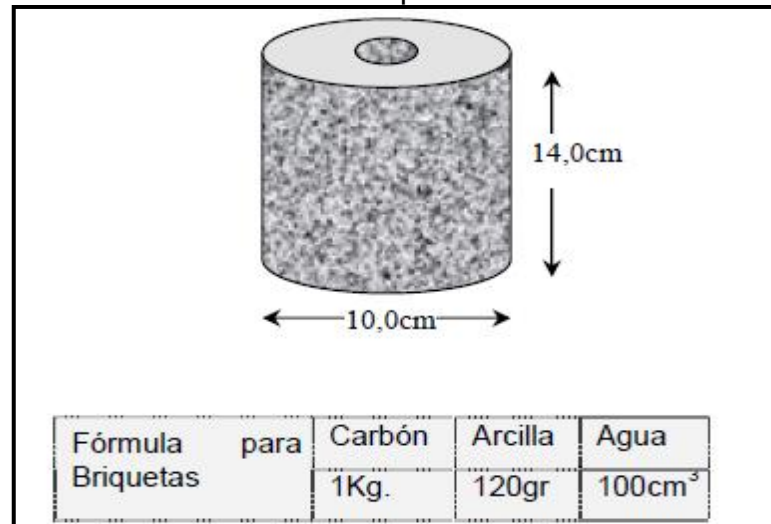
Con el uso de la mezcladora y extrusora se puede producir más de un millar de ladrillos crudos por hora.

**c).- Moldeo de briquetas.-** En forma similar a los ladrillos se moldean también briquetas de carbón para utilizarlas como combustible. Las briquetas son una mezcla humedecida de carbón en polvo con arcilla; esta mezcla se vierte en moldes especiales de diferentes formas y tamaños: (Ministerio de la Producción, 2010).

- Cilíndrico pequeño con un solo agujero en el centro
- Cilíndrico grande con varios agujeros en todo el cuerpo
- Rectangulares con las mismas dimensiones de los ladrillos

Luego se secan al aire por dos a tres días.

Ilustración 8: Briquetas cilíndricas



Fuente: Guía De Buenas Prácticas Ladrilleras Artesanales

#### 2.2.6.4. Secado

Los ladrillos crudos recién moldeados se depositan en canchas de secado o tendales, que son espacios de terreno plano habilitados para este fin generalmente lo más cerca posible a la zona de moldeo. (Ministerio de la Producción, 2010).

Los ladrillos se secan aprovechando la acción natural del sol y el viento. Cuando llueve y no están bajo sombra, se cubren con mantas de plástico para protegerlos aunque esto no siempre evita que se dañen por lo que es más recomendable construir cobertizos techados para el secado. (Ministerio de la Producción, 2010).

El secado se realiza hasta que el ladrillo crudo pierde aproximadamente un 13% de humedad y queda listo para ser cargado al horno; el período de secado depende del clima y puede variar entre cinco a siete días en promedio. A partir del tercer o cuarto día se van girando las caras expuestas para un secado parejo, raspando en cada giro las partes que estaban en contacto con el suelo a fin de desprender la tierra o polvo que podrían haber capturado. En la etapa final del secado, se van colocando los ladrillos de canto uno encima de otro formando pequeñas torres de un ladrillo por lado y de aproximadamente 1m a 1,20m de alto. (Ministerio de la Producción, 2010).



#### 2.2.6.5. Carga del horno

Primero se arma el “malecón” o arreglo de encendido acomodando los ladrillos secos de manera que, siguiendo el perfil de la ventana de aireación, formen una bóveda por encima del canal de encendido a todo lo largo del horno. En la quema con carbón, la base de esta bóveda se arma como una especie de parrilla formada con ladrillos enteros y tallados manualmente, sobre la cual se arman briquetas de carbón en tres o más capas dependiendo de la forma y tamaño de la bóveda. Debajo de esta parrilla está el canal del malecón donde se coloca la leña para el encendido. (Ministerio de la Producción, 2010).

A la altura de la parte superior de los lados de la bóveda formada por los ladrillos crudos en el interior del horno e inmediatamente por encima de la bóveda, se colocan briquetas de carbón en una disposición apropiada una al lado de otra a casi todo lo largo y ancho de la sección del horno para conseguir un frente de fuego horizontal. (Ministerio de la Producción, 2010).

Las briquetas utilizadas generalmente son de forma cilíndrica de 10cm de diámetro por 14,0cm de alto con un agujero en el medio para favorecer su encendido. (Ministerio de la Producción, 2010).

Por encima de la bóveda armada como malecón de encendido, los ladrillos son colocados en capas horizontales sucesivas cada una transversal respecto a la anterior (en ángulo de 90 grados), descansando sobre su lado más largo hasta llenar toda la altura del horno. En los techos abovedados se hace la misma disposición pero siguiendo la forma de la bóveda. (Ministerio de la Producción, 2010).

Otra manera de armar es en la secuencia 1 ½, que consiste en colocar un ladrillo a lo largo seguido de un ladrillo a lo ancho, luego un ladrillo a lo largo y así sucesivamente. Entre ladrillo y ladrillo se deja una separación de tres a cinco milímetros para permitir el flujo de aire y de los gases calientes producto de la combustión, así como para permitir la transmisión de fuego y calor durante la cocción. (Ministerio de la Producción, 2010).





El carguío y armado del horno se realiza en jornadas de uno a más días dependiendo del tamaño y capacidad del horno. En promedio un horno de 10 millares se carga en 10 horas con cinco personas: cuatro para alcanzar los ladrillos (bolear) y una para el armado. (Ministerio de la Producción, 2010).

#### **2.2.6.6. Cocción**

La cocción se realiza en los hornos ladrilleros. El horneado o quemado es una operación netamente artesanal que el Maestro Hornero va ajustando según los resultados que se van obteniendo. Los canales de encendido están construidos a la altura del piso, atraviesan el horno de lado a lado y sus ventanas o bocas están en los lados de mayor longitud. Las dimensiones y características de las bocas dependen del tipo de combustible que se va a quemar. En el Anexo 1 Manual para operadores de horno tradicional se incluyen diagramas de dimensiones de los canales y ventanas de encendido. (Ministerio de la Producción, 2010).

La cocción tiene dos partes bien diferenciadas: El Encendido y la Quema propiamente dicha. (Ministerio de la Producción, 2010).

**El Encendido.-** El objetivo es hacer prender las briquetas colocadas en la parte superior del malecón de encendido a fin que éstas a su vez generen suficiente calor para encender el cisco de carbón colocado en las sucesivas capas horizontales. El proceso de encendido en los hornos tradicionales de Arequipa dura de 8 a 24 horas y a veces hasta 48 horas. Para iniciar el fuego se utilizan llantas, plásticos y en el mejor de los casos paja, viruta de madera y leña de eucalipto o algarrobo. Cabe mencionar que algunos grupos de ladrilleros como los de la Asociación Primero de Mayo en Socabaya, Arequipa donde se condujo un Proyecto Demostrativo, han dejado de utilizar llantas o plásticos y actualmente para el encendido solo utilizan leña principalmente de eucalipto a veces remojando ligeramente los trozos iniciales con kerosén. (Ministerio de la Producción, 2010).

**La Quema.-** Consiste en lograr que el fuego vaya ascendiendo en forma homogénea a través de las sucesivas capas horizontales de ladrillos



encendiendo las respectivas capas de cisco de carbón hasta su agotamiento en las capas superiores con lo que se completa la cocción de toda la carga. (Ministerio de la Producción, 2010).

La cocción con carbón de piedra en los hornos tradicionales de Arequipa puede durar de siete a veinte días según el tamaño del horno. La cocción en los hornos de Piura dura siete días. La cocción en los hornos del Cusco dura 24 horas. (Ministerio de la Producción, 2010).

El proceso de cocción se inicia cuando han prendido totalmente las briquetas de la segunda capa del malecón de encendido pues entonces también ya ha prendido el cisco de carbón junto a estas briquetas; en este momento se empieza a sellar el horno tapando primero las mirillas y ventanas opuestas a la dirección del viento, reduciendo el tamaño de las ventanas ubicadas en la dirección del viento y finalmente sellando todas las ranuras de la última fila de ladrillos en el techo del horno, dejando pequeñas aberturas en las esquinas superiores para observar el avance. A partir de este momento solo se trata de mantener el fuego encendido hasta que llegue a la parte superior del horno. (Ministerio de la Producción, 2010).

#### **2.2.6.7. Descarga del horno**

Una vez que el fuego ha llegado al extremo superior y se ha consumido todo el carbón, se van abriendo poco a poco las ventilaciones del horno para dejar enfriar lo cual puede durar de cuatro a seis días. El enfriamiento es de abajo hacia arriba por efecto de las mismas corrientes de aire que han contribuido a la combustión. (Ministerio de la Producción, 2010).

Antes de proceder con la descarga se espera que el horno se enfríe. En épocas de alta demanda los ladrillos se empiezan a descargar cuando todavía están calientes sin esperar el período de enfriamiento normal, la descarga dura un día menos que el tiempo que se utilizó en cargar. (Ministerio de la Producción, 2010).

### 2.2.6.8. Clasificación y despacho

Los ladrillos se descargan y se apilan en los alrededores del horno clasificándolos según el resultado de la cocción: (Ministerio de la Producción, 2010).

- Bien cocidos (coloración rojiza intensa y sonido metálico a la percusión, son duros y presentan el grano fino y compacto en su fractura, sus aristas deben ser duras y la superficie lisa y regular)
- Medianamente cocidos o “bayos” (color menos rojizo)
- Crudos o no cocidos

Estos últimos se tienen que volver a cocer, mientras que los otros son adquiridos por los compradores a precios diferenciados pagándose obviamente menos por aquellos que no están bien cocidos. (Ministerio de la Producción, 2010).

### 2.2.7. Energía eléctrica

#### 2.2.7.1. Resistencia eléctrica

Se le denomina resistencia eléctrica a la igualdad de oposición que tienen los electrones al desplazarse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega ( $\Omega$ ), en honor al físico alemán George Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre. (Nilsson, 2005).

El nicromo o nicrom es una aleación de níquel, cromo. La aleación tipo está compuesta de un 80% de níquel y un 20% de cromo. Es de color gris y resistente a la corrosión, con un punto de fusión cercano a los 1400 °C. Por su gran resistividad y su difícil oxidación a altas temperaturas, es muy utilizado en la confección de resistencias para elementos telefónicos como chips de teléfonos móviles o cubiertas de motores de tractores. (Nilsson, 2005).

Este material está conformado por distintos elementos que le permiten tener un punto de fusión elevado, Fue descubierto en 1945 por el físico alemán



Matteus Furinher, el cual por medio de un procedimiento experimental encontró esta sustancia ser muy resistente a temperaturas muy elevadas. (MORALES & LOPEZ, 1997)

#### **2.2.7.2. Corriente eléctrica**

La corriente eléctrica o intensidad eléctrica es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio. Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, un fenómeno que puede aprovecharse en el electroimán. (Nilsson, 2005).

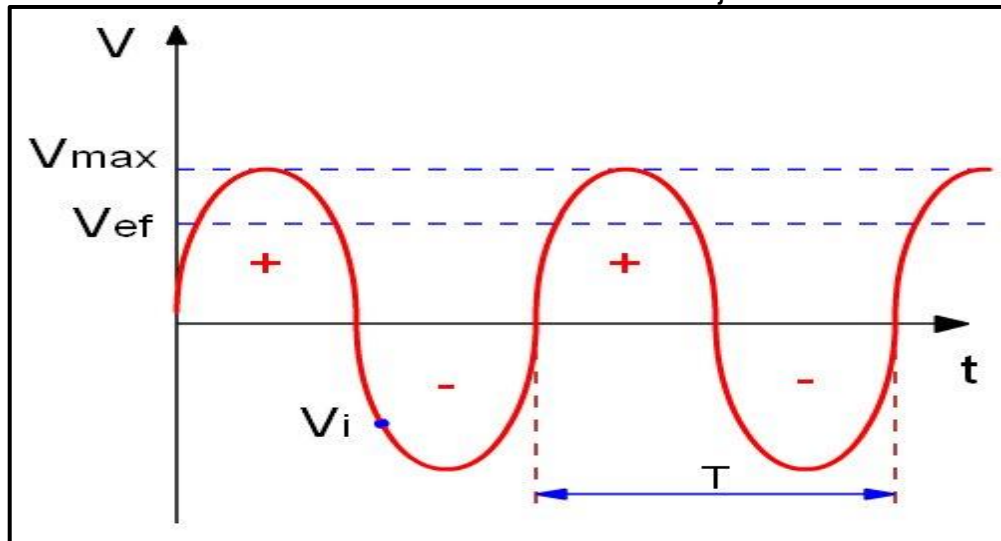
El instrumento usado para medir la intensidad de la corriente eléctrica es el galvanómetro que, calibrado en amperios, se llama amperímetro, colocado en serie con el conductor cuya intensidad se desea medir. (Nilsson, 2005).

#### **2.2.7.3. Potencial eléctrico**

El potencial eléctrico o potencial electrostático en un punto, es el trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva  $q$  desde dicho punto hasta punto un de referencia, dividido por unidad de carga de prueba. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga positiva unitaria  $q$  desde el punto de referencia hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica a velocidad constante. (Morales & López, 1997)

El voltaje que se percibe en los domicilios de nuestro país es el voltaje de corriente alterna, puesto que la energía eléctrica varía desde -220 voltios hasta 220 voltios, es decir voltajes positivos y voltajes negativos se perciben con una frecuencia de 60 Hertz, la gráfica en función del tiempo es una onda sinusoidal. (Nilsson, 2005).

Ilustración 9: Señal sinusoidal de voltaje alterna



Fuente: (Morales &amp; López, 1997)

#### 2.2.7.4. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica se define como la cantidad de trabajo realizado por una corriente eléctrica, es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt). (Morales & López, 1997)

Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos. La electricidad se puede producir mecánica o químicamente por la generación de energía eléctrica, o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas. (Nilsson, 2005).

La potencia está definida como el producto del potencial eléctrico por la corriente eléctrica: (Nilsson, 2005).

$$\text{Potencia} = \text{Voltios} * \text{Amperios}$$

$$Pot = V * I$$



Además la ley de Ohm, establece que el potencial eléctrico es el producto de la resistencia eléctrica por la corriente eléctrica. (Manzano, 2008)

$$\text{Potencial Electrico (Voltio)} = \text{Resistencia} * \text{Corriente}$$

$$V = R * I$$

Por lo tanto la potencia eléctrica se puede expresar en función de la resistencia, el voltaje y la corriente eléctrica. (Morales & López, 1997)

$$\text{Pot} = V * I = R * I^2 = \frac{V^2}{R}$$

Dónde:

Pot = Potencia eléctrica (Watt, W)

V = Voltaje alterna – potencial eléctrico (Voltio, V)

I = Corriente alterna (Amperio, A)

R = Resistencia Eléctrica (Ohmio,  $\Omega$ )

#### 2.2.7.5. Efecto joule

Es la producción de calor en un conductor cuando circula una corriente eléctrica a través del mismo. Este efecto es conocido como efecto Joule en honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule, que lo estudió en la década de 1860. La energía eléctrica se transforma en energía térmica debido a los continuos choques de los electrones móviles contra los iones metálicos del conductor, que provoca un aumento de temperatura del conductor. (Bueche, 2007)

La resistencia es el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica. (Bueche, 2007)

La cantidad de calor, Q, producida al paso de una corriente eléctrica por un conductor es proporcional a la resistencia, R, al cuadrado de la intensidad, I, y al tiempo, t: (Bueche, 2007)



$$Q = V * I * t = R * I^2 * t = \frac{V^2}{R} * t$$

Dónde:

P= Potencia Eléctrica (Watt, W)

I = Corriente eléctrica (Amperio, A)

R = Resistencia del material (Ohmio,  $\Omega$ )

Q = Energía calorífica producida por la corriente (Joule)

t = Tiempo (Segundo, S)

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como los hornos, las tostadoras y las calefacciones eléctricas, y algunos aparatos empleados industrialmente como soldadores, hornos de aceros, etc., en los que el efecto útil buscado es, precisamente, el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente. (Bueche, 2007)

Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones es un efecto indeseado y la razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos necesitan un ventilador que disipe el calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos. (Bueche, 2007)

El calor que se genera por el efecto Joule está dado en joules, esta unidad puede ser transformada a calorías con la siguiente relación. (Bueche, 2007)

$$Joule = 0.24 \text{ Calorias}$$

### 2.2.8. Mecanismos de transferencia de calor

La temperatura es una magnitud física que se refiere a la sensación e frío o calor al tocar alguna sustancia. En cambio el calor es la transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, producida por una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a otra de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de zona la más fría y reduce la de zona más cálida. La materia está formada por átomos o moléculas que están en constante



movimiento, por lo tanto tienen energía de posición o potencial y energía de movimiento o cinética. Los continuos choques entre los átomos o moléculas transforman parte de la energía cinética en calor cambiando la temperatura del cuerpo. (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

El calor se transfiere mediante convección, radiación y conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la tierra recibe calor del sol casi exclusivamente por radiación. (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

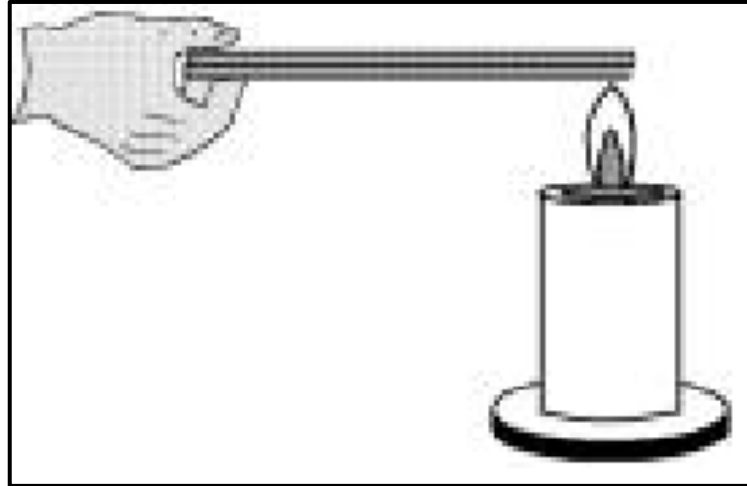
#### **2.2.8.1. Conducción**

El flujo de calor a través de medios sólidos es consecuencia de la vibración interna y choques de las moléculas y de los electrones libres. Las moléculas y los electrones libres de la fracción de un sistema con temperatura alta vibran con más intensidad que las moléculas de otras regiones del mismo sistema o de otros sistemas en contacto con temperaturas más bajas. Las moléculas con una velocidad más alta chocan con las moléculas menos excitadas y transfieren parte de su energía a las moléculas con menos energía en las regiones más frías del sistema. (Esplugas, Chamarro, 2005)

Los metales son los mejores conductores térmicos; mientras que los materiales no metálicos son conductores térmicos imperfectos. En los sólidos la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, conforme transcurra el tiempo la varilla aumentará su temperatura, a consecuencia del aumento de la energía interna de forma que aumente su temperatura el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. (Esplugas, Chamarro, 2005)



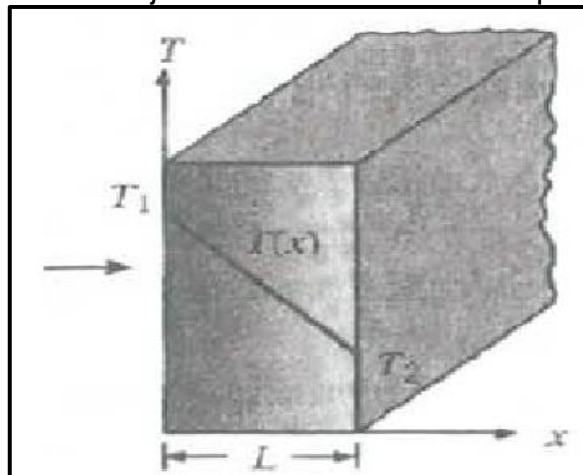
Ilustración 10: Flujo de calor por conducción a través de una varilla



Fuente: Elaboración propia

Los primeros adelantos a cerca de la conducción del calor se deben en gran parte a los esfuerzos del matemático Francés Fourier (1822), que propuso la ley de conducción de calor que hoy se conoce como la Ley de Fourier y su expresión define la magnitud del transporte de calor de una superficie caliente a una fría. La Ley de Fourier predice como se conduce el calor a través de un medio partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura, donde el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura, como se indica en la siguiente figura: Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

Ilustración 11: Flujo de calor a través de una pared plana



Fuente: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q \propto \frac{\partial T}{\partial x}$$

Para quitar la proporcionalidad se introduce un parámetro denominado conductividad térmica de los materiales ( $\lambda$ ); a pesar que esta varía con la temperatura en muchas aplicaciones puede suponerse constante, cuando la diferencia de temperatura entre la superficie caliente y fría no excedan un cierto rango, por lo tanto la ley de Fourier se expresa de forma matemática así: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

El signo menos es consecuencia de la ley de la termodinámica, que requiere que el flujo de calor debe fluir en dirección de una temperatura mayor a una menor, como se observa en la ilustración 11 el gradiente de temperatura será negativo si la temperatura disminuye al aumentar los valores de X. Por tanto, si el calor transferido en la dirección X positiva debe ser una cantidad positiva, se debe insertar un signo negativo en el lado derecho de la ecuación. (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q = -\lambda \frac{dT(x)}{d(x)}$$

En esta relación T(x) es la temperatura local y X es la distancia en la dirección del flujo de calor. La velocidad real del flujo de calor depende de la conductividad térmica  $\lambda$ , que es una propiedad física del medio. Entonces para la conducción a través de un medio homogéneo, la transferencia de calor es: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\lambda \frac{\Delta T}{L}$$

Para calcular la potencia o el flujo de calor total se requiere el área de la sección transversal, y además el calor está definido como la potencia por unidad de área. (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q = \frac{Pot}{A} = -\lambda \frac{\Delta T}{L}$$

Por la ley física se conoce que el flujo de calor está definido como la potencia por unidad de área, si de esta última fórmula despejamos la potencia tendríamos la siguiente relación: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$Pot = -\lambda * A \frac{\Delta T}{L}$$

Siendo:

- $q$  = Flujo de calor por unidad de área ( $W/m^2$ ,  $J/(s.m^2)$ )
- Pot = Potencia o flujo de calor total a través de la pared ( $W$ ,  $J/s$ )
- $\lambda$  = Conductividad térmica ( $W/(m.^{\circ}K)$ , ( $J/(s.m.^{\circ}K)$ )
- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre las paredes ( $^{\circ}K$ )
- $L$  = Espesor de la pared ( $m$ )
- $A$  = Área de la pared ( $m^2$ )

### 2.2.8.2. Convección

Es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido gaseoso). La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas. Cuando una masa de un fluido se calienta al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa. Cuando llega a ser menos denso se desplazará hacia arriba u horizontalmente hacia una región fría, mientras que las masas menos calientes, pero más densas, del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente (el volumen del fluido menos caliente es desplazada por el volumen más caliente). Mediante este mecanismo los volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de este fluido. (Esplugas, Chamarro, 2005)

### 2.2.8.3. Radiación

Es la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas. No se requiere de un medio para su propagación. La energía irradiada se mueve a la velocidad de la luz. El calor irradiado por el sol se puede intercambiar entre la superficie solar y la superficie de la tierra sin calentar el espacio de transición. (Esplugas, Chamarro, 2005)

### 2.2.9. Conductividad térmica

#### 2.2.9.1. Definición de la conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en  $W/(K \cdot m)$  (equivalente a  $J/(s \cdot K \cdot m)$ ). (Collieu, Powney, 1977)

El coeficiente de conductividad térmica es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor. Su símbolo es la letra griega  $\lambda$ . (Collieu, Powney, 1977)

#### 2.2.9.2. Coeficiente de la conductividad térmica

El coeficiente de conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa a través de la unidad de superficie de una muestra del material, de extensión infinita, caras plano paralelas y espesor unidad, cuando entre sus caras se establece una diferencia de temperaturas igual a la unidad, en condiciones estacionarias. (Collieu, Powney, 1977)

Dicho coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) se determina directamente de la “ley de la conducción de calor de Fourier”, descrito anteriormente lo cual es: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$Pot = -\lambda * A \frac{\Delta T}{L}$$

La variación de temperatura  $\Delta T$  indica las temperaturas final e inicial del material, siendo estas  $T_1$  y  $T_2$ , indicadas en la ilustración 11. (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$Pot = -\lambda * A \frac{T_2 - T_1}{L} = -\lambda * A \frac{T(fría) - T(caliente)}{L}$$

Para determinar el coeficiente de conductividad térmica despejamos  $\lambda$  de la ecuación siendo: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$\lambda = \frac{Pot * L}{A * [T(caliente) - T(fría)]}$$

Dónde:

- $\lambda$  = Coeficiente de conductividad térmica (W/(m.°K), J/(s. m.°K))
- Pot = Potencia o flujo de calor total a través de la pared (W, Joule/s)
- L = Espesor que atraviesa el calor (m)
- A = Área por donde se suministra la placa caliente (m<sup>2</sup>)
- $T(caliente)$  = Temperatura de la placa caliente (°K)
- $T(fría)$  = Temperatura de la placa fría (°K)

Tabla N° 9: División de los materiales en buenos aislantes térmicos, moderados o pobres

TIPO MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m.°K)
BUENOS AISLANTES	0.043 - 0.288
MODERADOS AISLANTES	0.288 - 0.721
POBRES AISLANTES	> 0.721

Fuente: (Blanco, 2012)

### 2.2.10. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios de señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico, hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares. (García, 2006).

Los sensores de temperatura se utilizan para medir el calor y asegurar que el proceso se encuentre, o bien dentro de un cierto rango, lo que proporciona seguridad en el uso de la aplicación, o bien en cumplimiento de una condición obligatoria cuando se trata de calor extremo, riesgos, o puntos de medición inaccesibles. (García, 2006).

### 2.2.10.1 termocupla tipo k

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente, Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. (García, 2006).

Tienen un rango de temperatura de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación. (García, 2006).

La termocupla tipo K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos. (García, 2006).

Foto N°1: Sensor de temperatura digital – termocupla tipo K



Fuente: Elaboración Propia

### **2.2.11. Equipo eléctrico para el ensayo de la conductividad térmica de los ladrillos.**

Para determinar la conductividad térmica del ladrillo se diseña un equipo eléctrico, basado en la norma ASTM C177-13, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, la cual utiliza el método de la placa caliente guardada, el dispositivo sirve para la medida y la verificación de materiales secos que deben ser objeto de ensayos de la conductividad térmica.

Este método establece el criterio de medición en laboratorio del flujo de calor en estado estacionario, a través de una superficie plana de un material homogéneo, cuando una cara del ladrillo está en contacto con una placa caliente de aluminio, dicho método se denomina el aparato de placa caliente protegida.

#### **2.2.11.1. Acondicionamiento del equipo eléctrico**

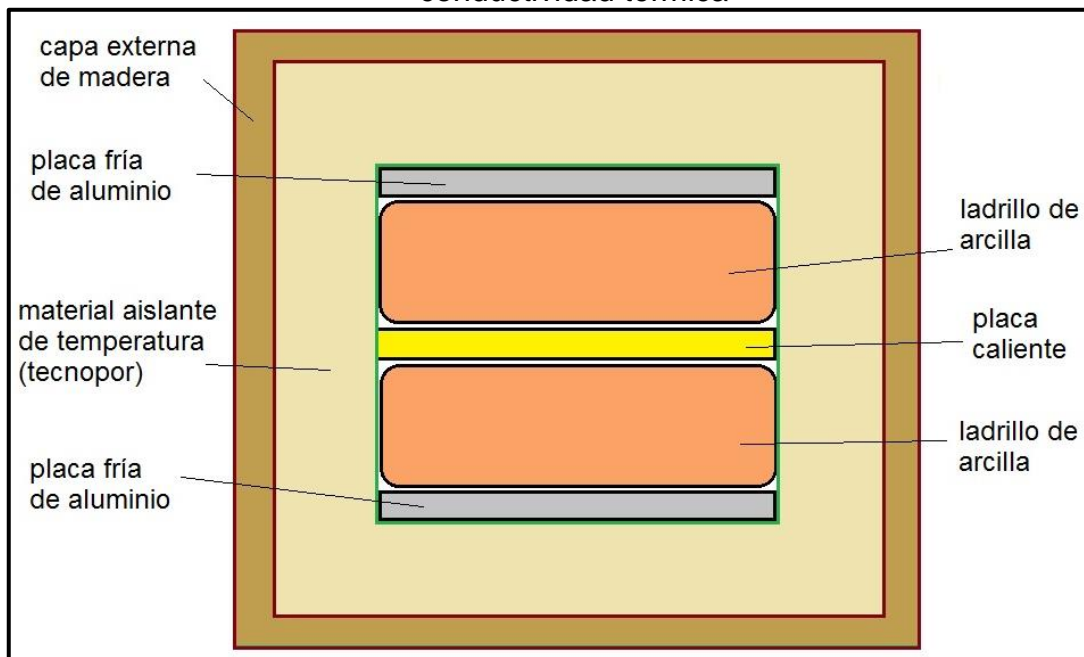
Los ladrillos a ser ensayados para la conductividad térmica del ladrillo, deben de estar completamente aislados de la temperatura del medio, este para evitar que la temperatura del medio ambiente no altere los datos obtenidos por la termocupla, medidos en las placas de aluminio.

El material aislante de temperatura que en este caso es el tecnopor, evita que la temperatura del medio ambiente altere la temperatura de los ladrillos, es decir deben estar completamente aislados dentro de la cámara con temperatura propia del interior de la cámara.

Como se observa en la figura, los ladrillos a ensayar son colocados en el interior de la cámara, teniendo siempre el orden: primero la placa fría de aluminio, luego el ladrillo de arcilla, seguidamente la placa caliente de aluminio, sobre ella otro ladrillo de arcilla que tenga las mismas dimensiones que el primero, posterior a esta se coloca la placa fría de aluminio.



Ilustración 12: Acondicionamiento de los ladrillos para el ensayo de la conductividad térmica



Fuente: Elaboración Propia

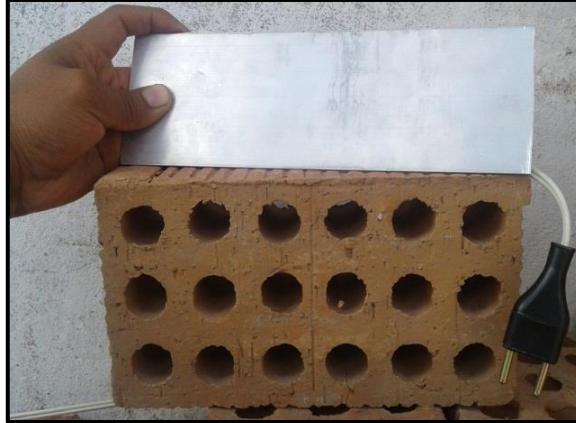
La placa caliente de aluminio se eleva de temperatura, transmitiendo así el calor a los ladrillos, al cabo de un determinado tiempo por el flujo de calor en los ladrillos se capta la temperatura en la placa fría de aluminio, es ese instante que debe de medirse la temperatura con los sensores, estos datos deben de aplicarse a la relación matemática del coeficiente de la conductividad térmica  $\lambda$ , y de este modo se determina esta propiedad física.

#### 2.2.11.2. Unidad calefactora

La unidad calefactora del equipo eléctrico consta de la placa de aluminio, la cual se eleva de temperatura gracias a la energía eléctrica suministrada a la resistencia que contiene en su interior, según la norma ASTM C177-13, recomienda que la placa metálica debe ser de aluminio, porque este metal tiene conductividad térmica elevada y porque es sensible al calor.

La placa de aluminio debe tener las mismas dimensiones que una de sus caras de la unidad de albañilería, para que el ladrillo y la placa de aluminio estén en contacto directo, la función de la placa de aluminio es calentar la cara de la unidad, para que el flujo del calor atravesase el cuerpo del ladrillo, teniéndose así la propiedad física de la conducción del calor.

Foto N° 2: Placa de aluminio generadora de calor



Fuente: Elaboración Propia

La placa de aluminio contiene un resistor, la cual se eleva de temperatura cuando se le conecta a una fuente de energía de voltaje alterna, pero el voltaje suministrado al resistor debe de ser regulado desde la fuente de energía, puesto que la potencia debe de ser un valor definido.

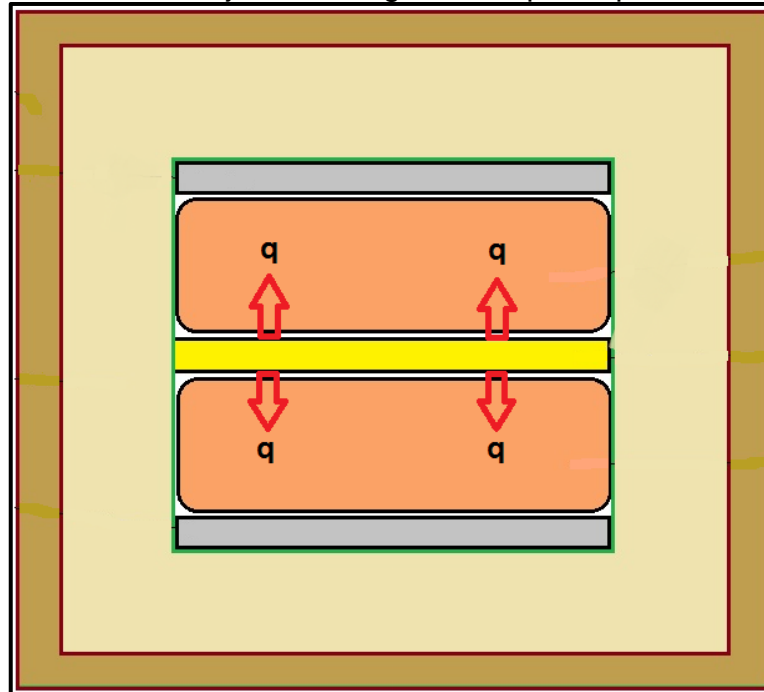
Foto N°3: Fuente de voltaje alterna de la placa de aluminio



Fuente: Elaboración Propia

Se debe de medir la resistencia eléctrica del resistor en la placa de aluminio, para suministrar el voltaje de energía eléctrica deseado, a través del cual se puede medir la potencia eléctrica por la ley de Ohm, esta energía eléctrica suministrada a la placa de aluminio se convierte en energía calorífica por el efecto joule, dicho calor se transmitirá de una cara del ladrillo hacia la cara opuesta por el principio de la conducción del calor, por lo tanto las temperaturas en dichas caras se pueden medir con un sensor de temperatura.

Ilustración 13: Flujo de calor generado por la placa caliente



Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.11.3. Sistema de control de temperatura

Para medir la temperatura se ha escogido termopares tipo K (sensores industriales), los cuales son sensores de temperatura digitales que tienen un rango de medición desde  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los cuales cuentan con un cable capaz de soportar temperaturas de su rango indicado.

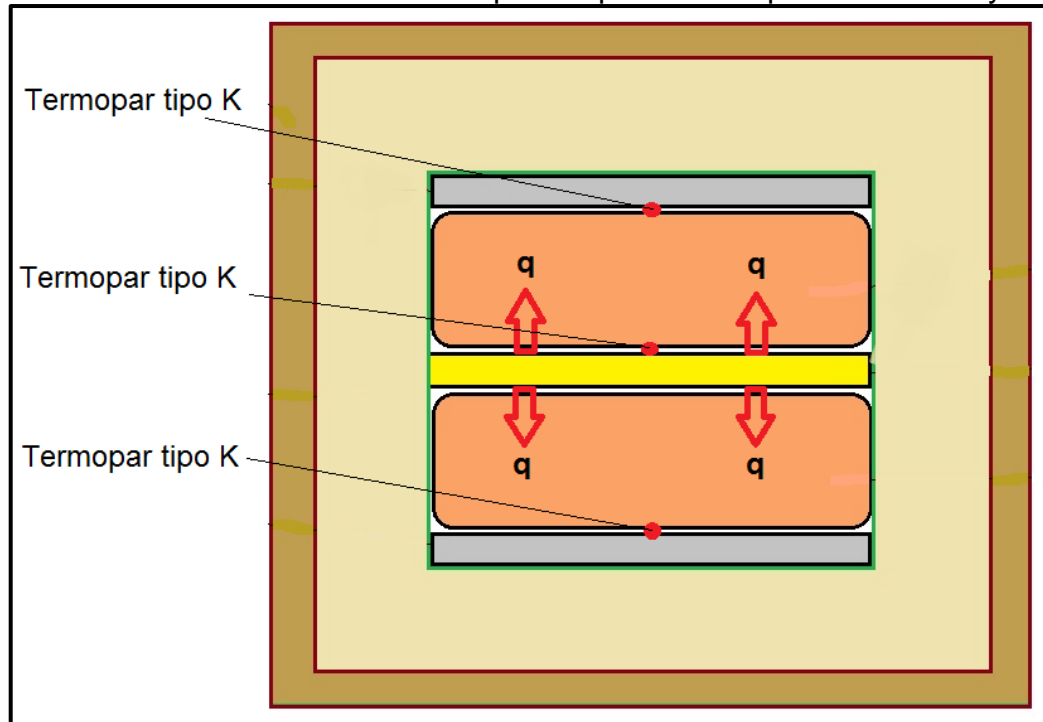
Foto N° 4: Control de temperatura con termocuplas tipo K



Fuente: Elaboración Propia

Los termopares tipo K miden la temperatura en ambas caras de la unidad de albañilería, uno de ellos se instala en el contacto de entre la placa caliente y la unidad de albañilería, el otro sensor se instala en el contacto de entre la placa fría y la unidad de albañilería.

Ilustración 14: Instalación de termopares tipo K en las placas caliente y fría.



Fuente: Elaboración Propia

Este equipo eléctrico se elaboró para el ensayo de la conductividad térmica exclusivamente de los ladrillos King Kong 18 huecos, con dimensiones largo 24 cm, ancho 14 cm y altura 9 cm, debido a que la placa de aluminio generadora de calor tiene un área igual a  $216 \text{ cm}^2$ , la cual es igual al área de la cara lateral del ladrillo King Kong 18 huecos, así mismo el acondicionamiento del ladrillo en el interior del equipo eléctrico, es exclusivamente para las dimensiones del ladrillo King Kong 18 huecos, para ensayos de otros tipos de ladrillos se debe elaborar otro equipo eléctrico, que esté acorde con las dimensiones de los ladrillos y bloques a ensayar.

### 2.2.9.2. Determinación experimental de la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para realizar la determinación experimental de la conductividad térmica de los ladrillos King Kong 18 huecos utilizados en la edificación, se basó siguiendo la norma **ASTM C177-13 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus**, y con la ayuda del equipo eléctrico preparado para realizar el ensayo de las unidades de albañilería. (ASTM, 2013).

Foto N° 5: Módulo eléctrico para determinar la conductividad térmica



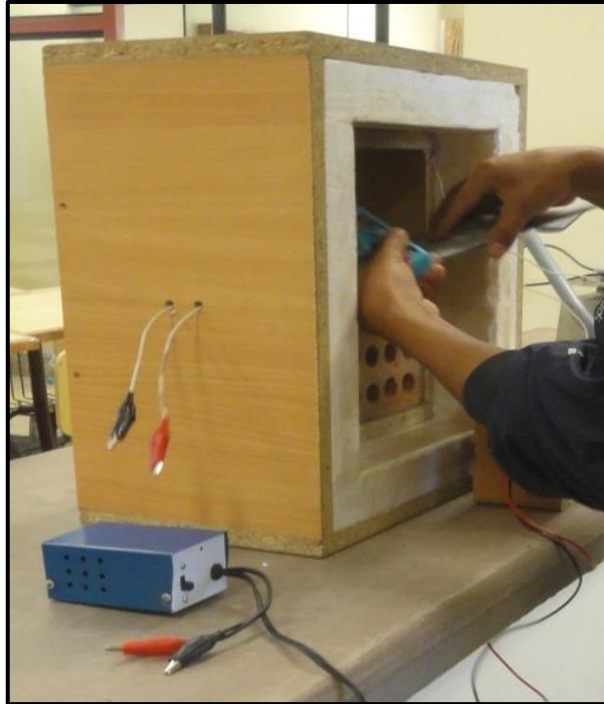
Fuente: Elaboración Propia

El método que hemos escogido ha sido el que se denomina de la placa caliente guardada, (ASTM C177-13) que es útil para la medida de la conductividad térmica de materiales secos y para la construcción de alta y media resistencia térmica. (ASTM, 2013).

La medida se realiza en el sistema que se encuentra dispuesto simétricamente, es decir, dos muestras colocadas entre las tres placas que están separados por el elemento de medida consistente en una placa caliente y dos placas frías. La temperatura de las placas aumenta o disminuye linealmente con el tiempo. (ASTM, 2013).



Foto N° 6: Instalación de la placa caliente y ladrillos al equipo eléctrico

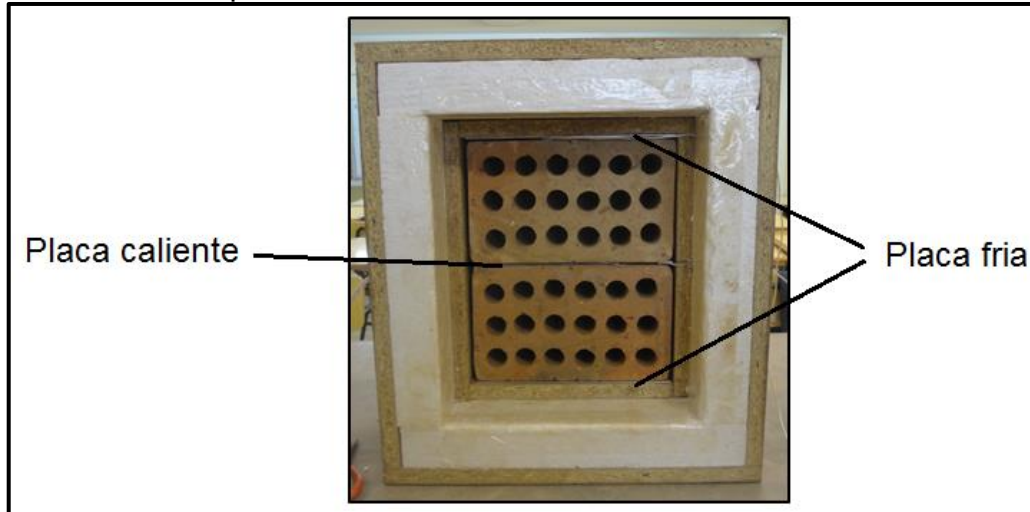


Fuente: Elaboración Propia

Es importante aislar térmicamente tanto el material de ensayo como la placa caliente para garantizar que las pérdidas de calor sean mínimas con respecto al exterior. Es por eso que el equipo se encuentra físicamente en contacto pero al mismo tiempo aislado del exterior con un material aislante así como por las paredes del equipo. (ASTM, 2013).

Este equipo eléctrico se diseñó siguiendo la norma ASTM C177-13, dicho equipo está fabricado de madera y tecnopor puesto que estos materiales son aislantes térmicos, a dicho equipo se le adicionará una placa central de aluminio caliente y dos placas frías de aluminio que se ubicarán en la parte superior e inferior de los ladrillos puestos a prueba, este aislamiento se realiza para evitar que los ladrillos King Kong no pierdan calor cuando estén en contacto directo con el medio ambiente. (ASTM, 2013)

Foto N° 7: Esquema de acondicionamiento de la unidad de albañilería



Fuente: Elaboración Propia

Cuando el termopar tipo K de la placa fría indica que el flujo de calor traspasó el espesor de los ladrillos, se toman las temperaturas de ambas placas indicadas por los sensores, desconectando así la energía eléctrica suministrada a la placa caliente.

Luego de realizar este experimento en laboratorio, se procede a aplicar la fórmula del coeficiente de conductividad térmica proveniente de ley de calor de Fourier anteriormente descrito.

$$\lambda = \frac{Pot * L}{A * [T(caliente) - T(fria)]}$$

Dónde:

- $\lambda$  = Coeficiente de conductividad térmica (W/(m.°K), J/(s.m.°K))
- Pot = Potencia o flujo de calor total a través de la pared (W, J/s)
- L = Espesor que atraviesa el calor (m)
- A = Área por donde se suministra la placa caliente (m<sup>2</sup>)
- $T(caliente)$  = Temperatura de la placa caliente (°K)
- $T(fria)$  = Temperatura de la placa fría (°K)





## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 metodología de la investigación**

#### **3.1.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **A).- Experimental**

Porque en la investigación se elaboró un nuevo material de construcción, adicionando porcentajes de puzolana a los ladrillos tradicionales King Kong 18 huecos, para lo cual se modificaron la dosificación de los materiales que las componen, obteniendo así unidades con propiedades físico mecánicas modificadas, la conductividad térmica reducida, las propiedades físicas incrementadas y las propiedades mecánicas variadas.

Porque también se elaboró un equipo eléctrico, para los ensayos de la conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos, adicionados con porcentajes de puzolana de la cantera Raqchi.

##### **B).- Cuantitativa**

Porque para obtener los resultados de la investigación se utilizaron relaciones matemáticas siendo: para la conductividad térmica “Ley de la conducción de calor de Fourier”, para las propiedades mecánicas la relación matemática del esfuerzo por unidad de área respectivamente, para las propiedades físicas la relación matemática de los pesos del ladrillo saturado, mojado y seco.

Realizando los ensayos descritos de la unidad, se recolectaron los datos numéricos y se comprobó la hipótesis enunciada con base en la medición numérica.

##### **C).- Descriptivo**

Porque se determina los nuevos valores de las propiedades de los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con porcentajes de puzolana de la cantera Raqchi, como son los valores de: la conductividad térmica, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, porcentaje de absorción y succión.



### **3.1.2. Método de la investigación**

#### **A).- Hipotético deductivo**

Para la investigación se plantea una hipótesis fundamental la cual se deduce en hipótesis específicos, que son probadas y analizadas mediante el diseño de investigación adecuado; porque la adición de porcentajes de puzolana a la masa cerámica del ladrillo genera cambios particulares en sus propiedades, es decir, se parten de proposiciones generales o más universales para llegar a una afirmación particular.

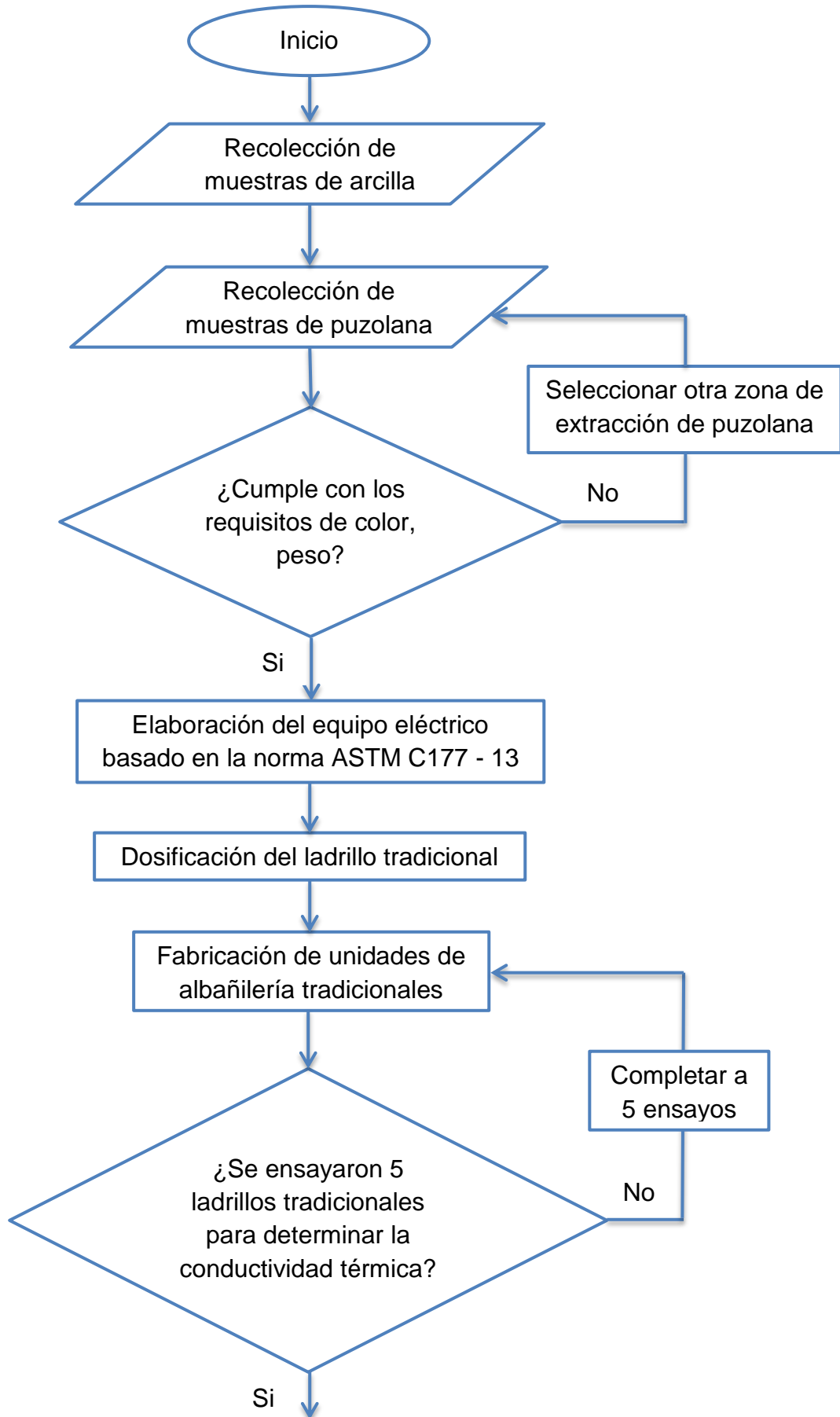
### **3.2. Diseño de investigación**

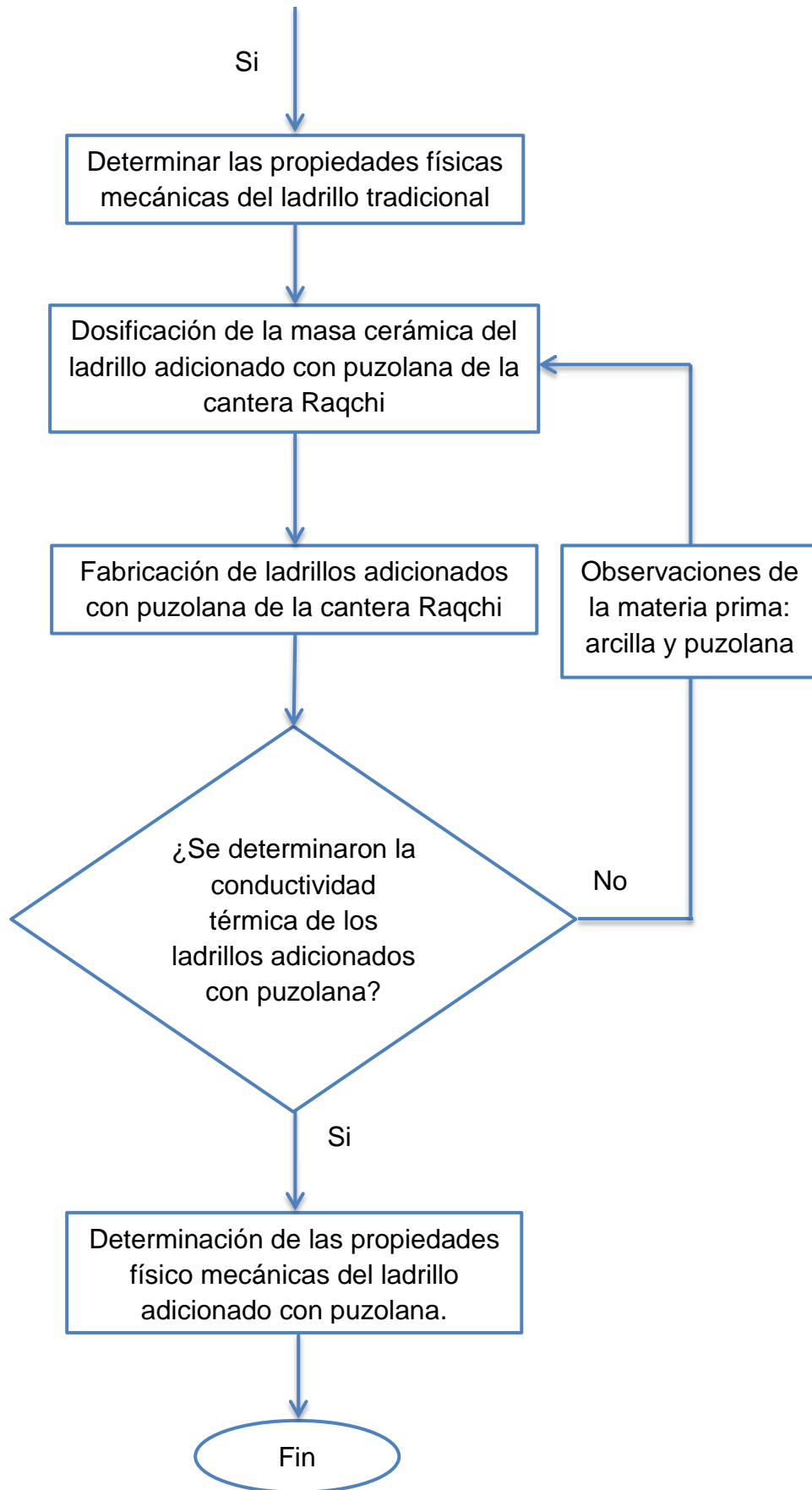
#### **3.2.1. Diseño metodológico**

##### **A).- Experimental**

Se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes.

3.2.2. Diseño de ingeniería







### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

##### **3.3.1.1. Descripción de la población**

La población es el conjunto de todos los elementos o unidades de análisis que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación. La población de la presente tesis está compuesta por unidades de albañilería manejables con una sola mano (ladrillos) elaborados con adiciones de puzolana de la cantera Raqchi, en la ciudad del cusco.

##### **3.3.1.2. Cuantificación de la población**

Debido a que la población de la presente tesis es nueva, ya que es un material de construcción que no es usado en la ciudad ni en la región, será igual a la muestra, por lo que la población consta de 70 unidades de ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi.

#### **3.3.2. Muestra**

##### **3.3.2.1. Descripción de la muestra**

La muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen al universo. La muestra de la presente tesis son los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi, y arcilla de la cantera Puca Orcco, del distrito San Jerónimo – Cusco.

##### **3.3.2.2. Cuantificación de la muestra**

El tamaño de la muestra será de 70 unidades de albañilería adicionados con puzolana, distribuidos de manera que por cada porcentaje de dosificación de puzolana cuente con 10 unidades de albañilería, las cuales se distribuirán de la siguiente forma:

- Ensayo de conductividad térmica: 35 unidades (Norma ASTM C177 – 13)
- Ensayo de resistencia a la compresión: 5 unidades (Norma NTP 399.613)
- Ensayo de resistencia a la tracción: 5 unidades (Norma NTP 399.613)
- Ensayo de Absorción: 5 unidades (Norma NTP 399.613)
- Ensayo de Succión: 5 unidades (Norma NTP 399.613)

### 3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo es una herramienta de la investigación científica cuya función básica es determinar qué parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicho universo. El método de muestreo utilizado en esta investigación fue el no probabilístico o muestreo dirigido, el cual supone un procedimiento de selección informal y se utiliza en muchas investigaciones cuantitativas.

### 3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Los ladrillos King Kong 18 huecos se fabricaron adicionando puzolana global (sin tamizar) pasantes el tamiz N° 4 y adicionando puzolana tamizada, para luego ser evaluados sus respectivas propiedades físicas y mecánicas.

- Se adicionó a la masa cerámica del ladrillo puzolana tamizada de la cantera Raqchi, en porcentajes del 10% a la masa cerámica del ladrillo, los tamaños fueron puzolanas retenidas en los tamices N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100.
- Se fabricaron ladrillos con puzolana global de la cantera Raqchi pasantes el tamiz N° 4, adicionando a la arcilla el 10% 20% y el 30%.
- Se fabricaron 10 unidades de ladrillos con puzolana de la cantera Raqchi, por cada variación de porcentaje.
- Unidades de albañilería adicionados con porcentajes de puzolana con dimensiones de 24 cm x 14 cm x 9 cm.
- Ladrillos adicionados con porcentajes de puzolana, que no presenten rajaduras que puedan detectarse a simple vista, producto de una mala fabricación o de su manipulación.
- Ladrillos adicionados con porcentajes de puzolana, que tengan una coloración uniforme sin presencia de sales o manchas, que puedan detectarse a simple vista.
- Ladrillos adicionados con porcentajes de puzolana, con refrentado de yeso, con un reposo mínimo de 24 horas para el ensayo de resistencia a la compresión.

### 3.3.3. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión son un conjunto de propiedades y características que sirven para identificar a la muestra estudiada de la población. Su finalidad es delimitar el universo y especificar la muestra de la investigación.

Los criterios de inclusión son:

- Ladrillos King Kong adicionado con puzolana fabricados con arcilla de la zona de Sucso Aucaylle, del distrito San Jerónimo de la ciudad del Cusco.
- Ladrillos King Kong adicionado con puzolana fabricados con puzolana de la cantera Raqchi, del distrito San Pedro, Provincia Canchis.
- Ladrillos King Kong fabricados con adiciones de puzolana tamizada al 10%, con puzolana retenida en el tamiz N° 16, N° 30, N°50 y N° 100.
- Ladrillos King Kong fabricados con adiciones de puzolana global pasantes el tamiz N° 4, al 10%, 20% y 30%.
- Unidades de albañilería adicionados con porcentajes de puzolana con dimensiones de 24 cm x 14 cm x 9 cm.
- Los ladrillos fabricados con adiciones de puzolana de la cantera Raqchi, cosidos en la parte central del horno.
- Ladrillos fabricados con adiciones de puzolana de la cantera Raqchi, que presentan una coloración según las especificaciones técnicas.
- Los ladrillos fabricados con adiciones de puzolana de la cantera Raqchi, que presentan un sonido metálico.
- Ladrillos adicionados con porcentajes de puzolana, con refrentado de yeso, con un reposo mínimo de 24 horas para el ensayo de resistencia a la compresión y resistencias a la compresión.
- Ladrillos que tengan una falla en la parte central, en el ensayo de la tracción de las unidades.





### 3.4 Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos a utilizarse en principio son los formatos de laboratorio, donde se anotaran los resultados de los ensayos de laboratorio y el procedimiento del mismo, para luego ser comparados, en el caso de los ladrillos.

También se consideran los formatos para anotar los resultados de los ensayos de conductividad térmica, para tener ordenados los resultados y posibilitar un mejor análisis de los mismos.

Como instrumentos también se utilizaran textos especializados en el tema de unidades de albañilería, así como las normas NTP, ITINTEC y ASTM. Que asentarán bases para el desarrollo de la tesis.

Los instrumentos utilizados principalmente para nuestra recolección de datos son:

- Fichas técnicas de laboratorio
- Registro de observación

Ilustración 15: Formato para seleccionar la puzolana en cantera

		<b>Universidad Andina Del Cusco</b> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA E.P. Ingeniería Civil			
ENSAYO: .....					
RESPONSABLE: .....					
MUESTRAS: .....				ENSAYO N° .....	
LUGAR: .....				CLIMA: .....	
PESO DE LA MUESTRA: .....			FECHA: .....		
<b>SELECCIÓN DE PUZOLANA</b>					
<b>INSPECCIÓN VISUAL DE:</b>				<b>SELECCIÓN</b>	
COLOR	¿Tiene color uniforme?				
PESO	¿Tiene peso ligero?				
DUREZA	¿Se fragmenta con facilidad?				
CANTIDAD DE PUZOLANA EXTRAIDA			m <sup>3</sup>		


Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 16: Formato para determinar granulometría de la puzolana

	<b>Universidad Andina Del Cusco</b> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA E.P. Ingeniería Civil				
ENSAYO: .....					
RESPONSABLE: .....					
MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....					
LUGAR: ..... CLIMA.....					
PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....					
GRANULOMETRÍA					
Tamiz (mm)	Tamiz (ASTM)	Peso retenido (gramos)	% Retenido (gramos)	% Ret. Acu. (gramos)	% Que Pasa (gramos)
9.5	3/8				
4.75	Nº 4				
2.36	Nº 8				
1.18	Nº 16				
0.6	Nº 30				
0.3	Nº 50				
0.15	Nº 100				
0.075	Nº 200				
	FONDO				
	TOTAL				

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 17: Formato para determinar el contenido de humedad



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

#### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....

LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

CONTENIDO DE HUMEDAD		
DESCRIPCIÓN	ENSAYO	
	$\text{Hum} = \frac{(W_{hum} - W_{sec})}{W_{sec}} * 100\%$	
Peso de Puzolana Humedo (gramos)	Whum	
Peso de Puzolana seco (gramos)	Wsec	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	Hum	

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 18: Formato para determinar la conductividad térmica



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....


LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		
DESCRIPCIÓN	ENSAYO	
	$\lambda = \frac{Pot * A}{L * H * (T1 - T2)}$	
Potencia de Energía Electrica (W)	Pot	
Altura del Ladrillo King Kong 18 Huecos (m)	H	
Largo del Ladrillo king Kong 18 Huecos (m)	L	
Ancho del Ladrillo King Kong 18 Huecos (m)	A	
Temperatura de la Placa Caliente (°K = 273.15 + °C)	T1	
Temperatura de la Placa Fria (°K = 273.15 + °C)	T2	
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL LADRILLO (W/(m·°K))	λ	

Fuente: Elaboración Propia


Ilustración 19: Formato para determinar la absorción del ladrillo



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

#### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....

LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

ABSORCIÓN		
DESCRIPCIÓN		ENSAYO
		$Abs = \frac{(W_{sat} - W_{sec}) * 100}{W_{sec}} * \%$
Peso Seco del especimen (gramos)	Wsec	
Peso Saturado del Especimen (gramos)	Wsat	
ABSORCIÓN DEL LADRILLO (%)	Abs	

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20: Formato para determinar la succión del ladrillo



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....

LUGAR: ..... CLIMA.....



PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

SUCCIÓN		
DESCRIPCIÓN		ENSAYO
		$Suc = \frac{(Pm - Ps) * 200}{A}$
Peso Seco del Especimen (gramos)	Ps	
Peso Mojado y Secado con Paño del Ladrillo (gramos)	Pm	
Area de Contacto del Ladrillo con el Agua (cm <sup>2</sup> )	A	
SUCCIÓN DEL LADRILLO (gramos/200cm <sup>2</sup> )	Suc	

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 21: Formato para determinar la tracción por flexión

	<h2 style="margin: 0;">Universidad Andina Del Cusco</h2> <h3 style="margin: 0;">C.P. Ingeniería Civil</h3>	
ENSAYO: .....		
RESPONSABLE: .....		
MUESTRAS: .....		ENSAYO N° .....
LUGAR: .....		CLIMA.....
PESO DE LA MUESTRA: .....		FECHA: .....
TRACCION POR FLEXIÓN		
DESCRIPCIÓN		ENSAYO
		$F'bt = \frac{2 * Pu}{\pi * b * Tb}$
Carga de Rotura	Pu	
El Ancho de la Longitud	b	
Altura del Ladrillo	Tb	
TRACCIÓN POR FLEXIÓN		F'bt

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 22: formato para la compresión de unidades de arcilla



## Universidad Andina Del Cusco

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....


LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE ARCILLA						
DESCRIPCIÓN					$F'_b = \frac{P_u}{A}$	
Ladrillo	Largo	Ancho	Altura	Area	Carga	$F'_b$
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	Aplicada (Kg)	(Kg /cm <sup>2</sup> )
1						
2						
3						
4						
5						
					$F'_b$	(Kg /cm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración Propia


Ilustración 23: formato para la variación dimensional de unidades



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....


LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

VARIACIÓN DIMENSIONAL															
				UNIDAD N°											
L 1: (cm)				A 1: (cm)				H 1: (cm)							
L 2: (cm)				A 2: (cm)				H 2: (cm)							
L 3: (cm)				A 3: (cm)				H 3: (cm)							
L 4: (cm)				A 4: (cm)				H 4: (cm)							
				UNIDAD N°											
L 1: (cm)				A 1: (cm)				H 1: (cm)							
L 2: (cm)				A 2: (cm)				H 2: (cm)							
L 3: (cm)				A 3: (cm)				H 3: (cm)							
L 4: (cm)				A 4: (cm)				H 4: (cm)							

Fuente: Elaboración Propia


Ilustración 24: formato para el alabeo de unidades de arcilla



## Universidad Andina Del Cusco

### FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### E.P. Ingeniería Civil



ENSAYO: .....

RESPONSABLE: .....

MUESTRAS: ..... ENSAYO N° .....

LUGAR: ..... CLIMA.....

PESO DE LA MUESTRA: ..... FECHA: .....

**ALABEO**

UNIDAD	SUPERFICIE CÓNCAVA (cm)	BORDE CÓNCAVO (cm)	SUPERFICIE CONVEXA (cm)	BORDE CONVEXO (cm)	OBSERVA - CIONES
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2. Instrumentos de ingeniería

- Equipo eléctrico para determinar la conductividad térmica
- Máquina de compresión
- Dosificador de arcilla
- Extrusora moldeador del ladrillo
- Balanza electrónica
- Juego de tamices
- Vernier
- Termocupla tipo K

### 3.5. Recolección de datos

#### 3.5.1. Recolección de la puzolana

##### A).- Elección de la puzolana

La puzolana utilizada en la presente investigación fue de la cantera Raqchi, este por ser una puzolana natural que proviene del enfriamiento de la erupción del volcán Quinsachata, dicha cantera se encuentra en la zona denominada como “Acco Pata” a 1.5 kilómetros y al norte de la comunidad campesina de Raqchi y a 3556 m.s.n.m., el acceso a esta cantera es únicamente por el camino Inca, que presenta rocas volcánicas de grandes dimensiones.

Foto N° 8: Cantera de puzolana “Acco Pata” – Raqchi.



Fuente: Elaboración Propia



La puzolana en la cantera “Acco Pata” Raqchi se encuentra a la libre intemperie, los cuales son de distintos colores siendo estos rojo, plomo y negro, pero estas puzolanas que se encuentran al aire libre ya tienen cierto porcentaje de contaminación, por lo tanto para tener una muestra de puzolana limpia se debe excavar el terreno hasta un máximo de 1 metro de profundidad, para extraer la puzolana natural y limpia.

### **B).- Elección del punto de extracción de puzolana**

Para la elección del punto de extracción de la puzolana se hicieron diferentes excavaciones en el terreno, hasta una profundidad de 0.5 m, puesto que en esta profundidad se encontró puzolana natural y sin sustancias contaminantes, la puzolana que no está contaminada tiene peso ligero, es frágil y color uniforme, teniendo en cuenta estos tres indicadores se evaluó la puzolana para la presente investigación.

Foto N° 9: Extracción de puzolana en la cantera “Acco Pata” - Raqchi



Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se eligió y se extrajo la puzolana natural se transportó este material a lomo, puesto que el acceso hacia esta zona de “Acco Pata”, es por un camino peatonal incaico, con una longitud de 1 kilómetro hasta la cantera.

La recolección y transporte de puzolana se realizó durante 1 día, puesto que en un viaje el transporte a lomo solamente se puede llevar  $0.25 \text{ m}^3$  de puzolana natural.

Foto N° 10: Transporte de puzolana de la cantera Raqchi



Fuente: Elaboración Propia

### **C).- Toma de datos**

La cantidad de puzolana natural recolectada de la cantera Raqchi fue de  $2 \text{ m}^3$ , tiene tamaños de entre  $\frac{3}{8}$  a  $\frac{3}{4}$ , dicha puzolana es de color plomo, tiene peso ligero y es frágil, lo que indica que la puzolana no está contaminada con partículas y sustancias del suelo.



### 3.5.2. Molienda de la puzolana

Los dos metros cúbicos de Puzolana extraída de la cantera Raqchi tiene forma irregular y tamaños de 3/8" y 3/4", por lo tanto por recomendación directa del gerente operador de la fábrica de ladrillos LATESA, nos indicó que se deben de triturar y moler en la trituradora de suelos de propiedad de la empresa antes mencionada.

#### A).- Equipos

- **Molino Triturador.**- El triturador de la materia prima (arcilla, puzolana) es una máquina eléctrica monofásica que funciona con corriente alterna de 220 voltios, que tiene una capacidad de triturar 10 kilos de material por 20 segundos.

#### B).- Procedimiento

- Para triturar la puzolana se debe de encender el triturador eléctrico desde un interruptor monofásico que está conectada a 220 voltios de voltaje alterna.

Foto N° 11: Encendido Del Molino Triturador



Fuente: Elaboración Propia

- Se debe de echar con cuidado la puzolana en la boca de alimentación del molino de tal modo que el molino lo triturará, en el mismo instante se debe de tener contenedores en la boca de salida del molino para recepcionar la puzolana triturada, la molienda de la puzolana tuvo una duración de 35 minutos.

Foto N° 12: Proceso de molienda de La puzolana



Fuente: Elaboración Propia

**C).- Toma de datos**

En el proceso de la molienda se observó que la puzolana de cantera pierde un porcentaje de su volumen.

Tabla N° 10: Toma de datos de la puzolana molida

Descripción	Volumen de la Puzolana (metros cúbicos)
Puzolana de cantera	2
Puzolana molida	1.5

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.3. Granulometría de la puzolana

#### A).- Instrumentos

- **Balanzas.-** Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.
- **Tamices.-** Se utilizaron el juego de tamices para el agregado fino que son: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.
- **Agitador mecánico de tamices.-** Un agitador mecánico impartirá un movimiento vertical o movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado.
- **Recipientes.-** se utilizó recipientes para clasificar la distribución de tamaños de la puzolana.

#### B).- Procedimiento

La cantidad o muestra de puzolana a tamizar es de 1 Kg, según se estipula en NTP 400.012.

- Se coloca la puzolana en el juego de tamices para agregado fino que son: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.

Foto N° 13: Colocacion de la puzolana a los tamices



Fuente: Elaboración Propia

- El juego de tamices más la puzolana se colocan en el agitador mecánico de tamices y se pone en marcha dicha máquina durante un tiempo de 2 minutos y 30 segundos.

Foto N° 14: Tamizado de la puzolana



Fuente: Elaboración Propia

- Desmontando el juego de tamices del agitador mecánico se procede a pesar y separar la cantidad de puzolana que quedó en cada tamiz, determinando así la distribución de tamaños de la puzolana.

Foto N° 15: Muestras de puzolana después del tamizado



Fuente: Elaboración Propia



**C).- Toma de datos**

Tabla N° 11: Toma de datos de la puzolana tamizada

Tamiz	peso reten + recip	peso retenido
	gramos	gramos
3/8"	84.5	0
N° 4	85.3	0.8
N° 8	102	17.5
N° 16	152.6	68.1
N° 30	191.8	107.3
N° 50	319.3	234.8
N° 100	427.8	343.3
N° 200	256.8	172.3
Fondo	136.7	52.2
<b>Total</b>		<b>996.3</b>

Fuente: Elaboración Propia

**3.5.4. Dosificación de materiales del ladrillo King Kong.****A).- Instrumentos**

- **Balanza.-** Balanza con capacidad no menor de 2 kg y que permita efectuar pesadas con una precisión de 0,5 g.
- **Muestra 1.-** Cinco ladrillos King Kong 18 huecos crudos, recientemente obtenidos de la moldeadora de ladrillos.
- **Muestra 2.-** Cinco ladrillos King Kong 18 huecos cocidos, recientemente obtenidos del horno.

**B).- procedimiento****B.1).- Dosificación de materiales del ladrillo tradicional**

Los ladrillos de arcilla King Kong 18 huecos elaborados en la fábrica Latesa, están compuestos por dos materiales que son: arcilla, agua y un aditivo que es la arenilla, dicho aditivo se coloca a la masa cerámica del ladrillo, para darle un buen acabado de los ladrillos, esta arenilla que es la arcilla proveniente de la molienda de los mismos ladrillos que resultaron rajados o rotos en el horno al momento del quemado.

La dosificación de estos dos materiales es de manera artesanal y práctica, manejado por los maestros ladrilleros en la empresa Latesa; la cantidad de agua mezclada a la arcilla se regula visualmente, para tal efecto la arcilla se

humedece con agua utilizando una manguera, puesto que el exceso de agua hace que el ladrillo crudo no sea estable, es decir el ladrillo crudo recién salido del molde se deforma, generándose variaciones en sus dimensiones, e incrementándose el alabeo.

Foto N° 16: Dosificación de arcilla y agua para los ladrillos tradicionales



Fuente: Elaboración Propia

La arcilla humectada con agua es colocada a la trituradora con la ayuda de una minicargadora mecánica, a la salida de la trituradora la arcilla es adicionada con la arenilla, esta arenilla que es la arcilla cocida, proviene de la molienda de los ladrillos cocidos que resultaron rajados y rotos.

Foto N° 17: Adición de la arenilla a la arcilla



Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación de los materiales del ladrillo tradicional, se tomará en cuenta el porcentaje de humectación o el contenido de agua que se le añade a un ladrillo para su dosificación, por tal motivo se determinó la cantidad de agua que contiene un ladrillo.

Para determinar la cantidad de agua y cantidad de arcilla que contiene un ladrillo, se tomaron cinco muestras que consisten en ladrillos recientemente obtenidos del molde, es decir ladrillos crudos.

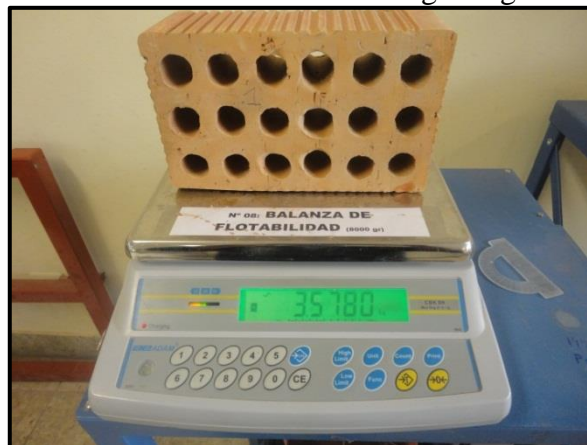
Foto N° 18: Peso del ladrillo King Kong crudo



Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el peso de la arcilla en un ladrillo, se tomaron cinco muestras recientemente obtenidos del horno, es decir ladrillos que no contienen humedad.

Foto N° 19: Peso del ladrillo King Kong cocido



Fuente: Elaboración Propia



**B.2).- Dosificación del ladrillo adicionado con puzolana**

Para dosificar los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi, se tomó en cuenta la dosificación del ladrillo tradicional, puesto que la investigación consiste en evaluar la conductividad térmica del ladrillo adicionado con puzolana respecto a un ladrillo tradicional, por lo tanto se debe de tomar en cuenta su dosificación tradicional de la unidad de arcilla.

**B.2.1).- Dosificación del ladrillo con puzolana tamizada**

Para la dosificación de materiales del nuevo ladrillo adicionado con puzolana se tienen como materia prima la arcilla, agua y puzolana tamizada, la dosificación consiste en retirar 10% de la mezcla de agua con arcilla y reemplazar por 10% de puzolana tamizada, se realiza esta operación porque el equipo moldeador de los ladrillos admite una cantidad exacta de arcilla, las puzolanas adicionadas fueron las puzolanas retenidas en los tamices N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100.

Foto N° 20: Puzolana tamizada que se adicionó al ladrillo King Kong



Fuente: Elaboración Propia

**B.2.2).- Dosificación del ladrillo con puzolana global**

Para los ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana global de la cantera Raqchi, se elaboraron ladrillos adicionados con puzolana sin tamizar en porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso de la mezcla de arcilla y agua del ladrillo, se considera puzolana global a todos los tamaños de puzolana que pasaron el tamiz N° 4 hasta el fondo.

Foto N° 21: Puzolana global que se adicionó al ladrillo King Kong



Fuente: Elaboración Propia

Para la dosificación del ladrillo con puzolana global del 10%, 20% y 30%, se quitaron la mezcla de arcilla y agua del ladrillo tradicional en los porcentajes mencionados, para que sean reemplazados por puzolana global en los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente, esta operación se realizó porque el molde del equipo mecánico acepta solamente una determinada cantidad de materiales para la extrusión y moldeado de los ladrillos.

### C).- Toma de datos

Tabla N° 12: Peso del ladrillo crudo King Kong 18 huecos

<b>LADRILLO CRUDO</b>	<b>PESO (gramos)</b>
ladrillo 01	4665.4
ladrillo 02	4680.4
ladrillo 03	4691.2
ladrillo 04	4676.5
ladrillo 05	4673.6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 13: Peso del ladrillo cocido King Kong 18 huecos

LADRILLO COCIDO	PESO (gramos)
ladrillo 01	3578
ladrillo 02	3336
ladrillo 03	3513.1
ladrillo 04	3305.7
ladrillo 05	3473.1

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.5. Elaboración de ladrillos King Kong 18 huecos

#### A) Equipos

- Dosificador ladrillero
- Extrusora moldeador del ladrillo

#### B) Procedimiento

##### 1.- Dosificación de los materiales

Primero se dosifican los materiales que generarán los ladrillos tales como: arcilla, arenilla, puzolana y agua en las cantidades antes mencionadas de acuerdo a diseño de mezcla, esta mezcla y dosificación se realiza mediante el dosificador ladrillero una máquina eléctrica de 220 voltios de corriente alterna.

Foto N° 22: Dosificación de la materia prima del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia



## 2.- Moldeo de ladrillos King Kong 18 huecos

Los materiales dosificados se colocan con mucho cuidado a la cámara mezcladora de la máquina de extrusión para que la materia prima del ladrillo como son arcilla, arenilla, puzolana y el agua estén uniformemente regulados en peso gracias a las aletas de esta máquina eléctrica de 220 voltios, posteriormente la arcilla dosificada es transportada por una faja hacia la cámara de extrusión para que la masa se pueda amoldar y tenga la forma de los ladrillos King Kong 18 huecos.

Foto N° 23: Extracción de los ladrillos de la máquina extrusora y moldeadora



Fuente: Elaboración Propia

### 3.- Secado de los ladrillos recientemente fabricados

Los ladrillos frescos en masa que recién se fabricaron se ponen en un área segura y con amplia ventilación, este para que pueda tener un secado uniforme, la recomendación es que deben de secar unas tres semanas antes de ser introducidos al horno y su posterior quemado de las unidades de albañilería.

Foto N° 24: Secado de los ladrillos a la intemperie



Fuente: Elaboración Propia

### 4.- Quemado de los ladrillos King Kong 18 huecos

Posterior a las tres semanas del secado de los ladrillos, se prepara el horno que tiene una capacidad para seis millares de ladrillos, para quemar las unidades de albañilería, para ello los ladrillos se deben de colocar con mucho cuidado en el horno, puesto que aún están propensos a ser quebrados, el proceso del quemado se realiza por un periodo de 24 horas, esta actividad comprende dos etapas siendo el encendido de 12 horas y la cocción de 12 horas, para ello se suministra leña y aserrín que es impulsada con la máquina de viento para mantener la temperatura constante en el interior del horno.



Foto N° 25: Quemado de los ladrillos King Kong



Fuente: Elaboración Propia

### C) Resultados

Seguidamente al periodo del quemado de ladrillos el horno ladrillero debe de enfriar mínimamente por 12 horas, posteriormente se deben retirar los ladrillos del horno con mucho cuidado, teniendo así un total de 70 ladrillos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi.

Foto N° 26: Ladrillos King Kong 18 huecos adicionados con puzolana de la cantera Raqchi



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 14: Cantidad de ladrillos King Kong fabricados

<b>LADRILLOS TRADICIONALES KING KONG 18 HUECOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Ladrillos de arcilla king kong 18 huecos	30
<b>LADRILLOS ADICIONADOS CON PUZOLANA</b>	
<b>LADRILLOS CON PUZOLANA TAMIZADA</b>	
Ladrillos con puzolana al 10% del tamiz (N° 8 - N° 16)	10
Ladrillos con puzolana al 10% del tamiz (N° 16 - N° 30)	10
Ladrillos con puzolana al 10% del tamiz (N° 30 - N° 50)	10
Ladrillos con puzolana al 10% del tamiz (N° 50 - N° 100)	10
<b>LADRILLO CON PUZOLANA GLOBAL (SIN TAMIZAR)</b>	
ladrillos con puzolana global al 10%	10
ladrillos con puzolana global al 20%	10
ladrillos con puzolana global al 30%	10
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración Propia





### 3.5.6. Succión del ladrillo King Kong 18 huecos

Para el ensayo de la succión de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería” y la Norma Técnica ITINTEC 331.018, “ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA, Ladrillos de arcilla usados en albañilería requisitos”.

#### A) Instrumentos y materiales

- **Bandeja o recipiente** para agua, con una profundidad interior de no mayor de 12,5 mm y de un largo y ancho tales que resulte un área de no menor de 2 000 cm<sup>2</sup>. La base de la bandeja debe ser plana y horizontal. Se debe incorporar a la bandeja un dispositivo que permita mantener el nivel de agua 3 mm por encima de los soportes.
- **Soporte para los ladrillos.**- Se usará dos barras idénticas de metal no corrosible, con sección rectangular de 5 mm de altura y de un ancho no mayor de 10 m.
- **Balanza.**- Balanza con capacidad no menor de 2 kg y que permita efectuar pesadas con una precisión de 0,5 g.
- **Horno.**- Horno con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110°C y 115°C.
- **Cronómetro.**- Calibrado en segundos, que indique un periodo de un minuto.
- **Vernier.**- Para determinar las dimensiones del ladrillo.
- **Trozo de tela.**- Para secar los ladrillos sumergidos en agua.
- **Muestra.**- Cinco ladrillos enteros o mitades de ladrillos.

#### B) Procedimiento

- Los cinco ladrillos seleccionados son colocados al horno eléctrico durante un tiempo de 24 horas, y se deseca a temperatura de 110°.

Foto N° 27: Colocación de ladrillos al horno eléctrico



Fuente: Elaboración Propia

- Se extraen los ladrillos del horno y se pesan en la balanza de precisión.

Foto N° 28: Control de peso del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Haciendo uso del vernier se miden el largo, ancho y diámetro de los agujeros de la superficie del espécimen, que estará en contacto con el agua.

Foto N° 29: Medición de las dimensiones del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se monta la bandeja para la prueba, se horizontaliza el fondo de la bandeja mediante un nivel de mano (nivel de burbuja).

Foto N° 30: Control de la horizontalidad de la bandeja



Fuente: Elaboración Propia



- Se coloca el espécimen encima de los soportes contando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el período de contacto,  $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$  se mantiene el nivel de agua 3 mm por encima de los soportes agregando agua según sea necesario.

Foto N° 31: Colocación del ladrillo sobre los soportes



Fuente: Elaboración Propia

- Concluido un minuto, se saca el ladrillo de la bandeja y se seca el agua superficial con una franela.

Foto N° 32: Secado del ladrillo con franela



Fuente: Elaboración Propia

- Se pesa el ladrillo con una balanza de precisión de 0,5 g. La pesada se realiza en un lapso no mayor de 2 min después de su retiro del contacto con el agua.

Foto N° 33: Control del peso del ladrillo con agua



Fuente: Elaboración Propia

**C).- Toma de datos**

Tabla N° 15: Datos del ensayo de succión del ladrillo tradicional

DESCRIPCIÓN	LADRILLO KING KONG 18 HUECOS				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3578	3336	3513.1	3306	3473.1
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3608	3377	3554.4	3343	3495.9
Largo (cm)	23.5	23.9	24	23.7	24
Ancho (cm)	13.3	13.2	13.4	13.3	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	312.6	315.5	321.6	315.2	319.2
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	74.79	68.42	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	244.13	240.69	246.81	246.79	250.78

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 16: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 10% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3432.4	3484.2	3440.3	3452.3	3434.2
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3468.9	3521.8	3476.9	3488.9	3471.1
Largo (cm)	24	23.7	24	23.9	23.5
Ancho (cm)	13.3	13.4	13.2	13.3	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.2	2.2	2.3
Area bruta cm <sup>2</sup>	319.2	317.58	316.8	317.87	312.55
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	68.42	68.42	74.79
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	250.78	242.79	248.38	249.45	237.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 20% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3429.8	3441.5	3439.8	3435.7	3442.4
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3468.5	3480.3	3478.4	3474.6	3481.2
Largo (cm)	23.5	23.9	24	23.7	24
Ancho (cm)	13.3	13.2	13.4	13.3	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	312.55	315.48	321.6	315.21	319.2
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	74.79	68.42	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	244.13	240.69	246.81	246.79	250.78

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 18: Datos del ensayo de succión del ladrillo con 30% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3440.5	3430.5	3423.6	3418.2	3428.8
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3481.9	3471.9	3464.2	3459.6	3469.2
Largo (cm)	23.7	23.9	24	23.9	24
Ancho (cm)	13.3	13.5	13.4	13.5	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	315.21	322.65	321.6	322.65	319.2
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	74.79	68.42	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	246.79	247.86	246.81	254.23	250.78

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 19: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3410.3	3415.1	3420.2	3418.4	3417.5
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3461.7	3465.8	3471.9	3468.8	3469
Largo (cm)	23.7	23.9	24	23.9	24
Ancho (cm)	13.3	13.5	13.4	13.5	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	315.21	322.65	321.6	322.65	319.2
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	74.79	68.42	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	246.79	247.86	246.81	254.23	250.78

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 20: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3410.2	3431.7	3436.9	3424.8	3422.8
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3457.9	3477.8	3483.8	3469.9	3469.3
Largo (cm)	24	23.7	24	23.5	23.9
Ancho (cm)	13.3	13.4	13.2	13.3	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.2	2.3	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	319.2	317.58	316.8	312.55	317.87
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	68.42	74.79	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	250.78	242.79	248.38	237.76	249.45

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 21: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3440.5	3422.8	3421.8	3441.6	3432.3
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3481.2	3465.8	3465.4	3484.2	3475.9
Largo (cm)	24	23.7	24	23.9	23.5
Ancho (cm)	13.3	13.4	13.2	13.3	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.2	2.2	2.3
Area bruta cm <sup>2</sup>	319.2	317.58	316.8	317.87	312.55
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	68.42	68.42	74.79
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	250.78	242.79	248.38	249.45	237.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 22: Datos del ensayo de succión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3443.8	3455.2	3435.4	3435.3	3443.3
Peso del ladrillo mojado (gramos)	3483.5	3493.9	3475	3474.5	3482.9
Largo (cm)	23.7	23.9	24	23.9	24
Ancho (cm)	13.3	13.5	13.4	13.5	13.3
Diámetro de los huecos (cm)	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2
Area bruta cm <sup>2</sup>	315.21	322.65	321.6	322.65	319.2
Area perforada cm <sup>2</sup>	68.42	74.79	74.79	68.42	68.42
Area del ladrillo contacto con el agua (cm <sup>2</sup> )	246.79	247.86	246.81	254.23	250.78

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.7. Absorción del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el ensayo de absorción de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería” y la Norma Técnica ITINTEC 331.018, “ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA, Ladrillos de arcilla usados en albañilería requisitos”.

#### A) Instrumentos y materiales

- **Balanza electrónica.**- Con capacidad no menor de 2 kg con una precisión de 0,5 g.
- **Recipiente de agua.**- Que pueda contener las muestras completamente sumergidas.
- **Horno.**- Con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110°C y 115°C.
- **Trozo de tela.**- Para secar los ladrillos sumergidos en agua.
- **Muestra.**- Cinco ladrillos enteros.

#### B) Procedimiento

- Se tiene 5 muestras de ladrillo King Kong 18 huecos de la empresa “LATESA”.
- Se calientan los especímenes en el horno entre 110°C y 115°C, durante 24 horas antes del ensayo.

Foto N° 34: Colocado del ladrillo al horno



Fuente: Elaboración Propia

- Se determina el peso de las muestras luego de enfriarlos a temperatura ambiente durante 4 horas.

Foto N° 35: Control del peso seco del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se introducen los especímenes secos en un recipiente lleno de agua manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 h, asegurando que la temperatura del baño esté comprendida entre 15°C y 30°C.

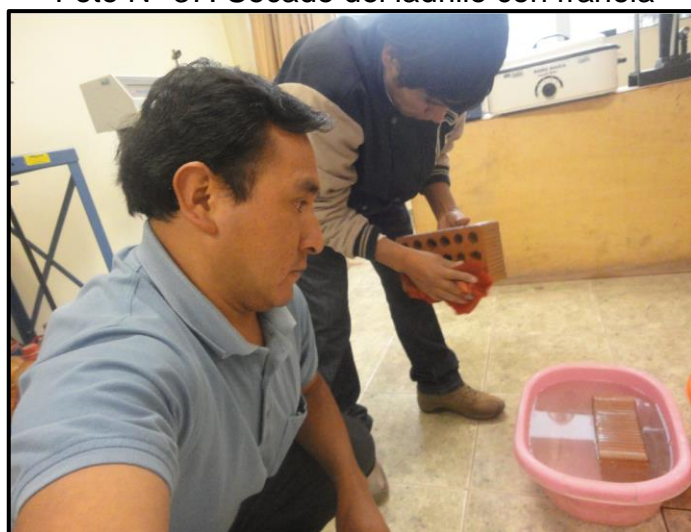
Foto N° 36: Colocación del ladrillo en recipientes de agua



Fuente: Elaboración Propia

- Transcurrido el lapso indicado, se retiran los especímenes de los recipientes con agua, secando el agua superficial con un trapo húmedo y se pesan.

Foto N° 37: Secado del ladrillo con franela



Fuente: Elaboración Propia



- Los especímenes deben pesarse dentro de los 5 min a partir del instante en que se extraen del recipiente.

Foto N° 38: Control de peso del ladrillo saturado



Fuente: Elaboración Propia

C) Toma de datos

Tabla N° 23: Datos del ensayo de absorción del ladrillo tradicional

DESCRIPCIÓN	LADRILLO KING KONG 18 HUECOS				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3565	3330	3526	3310	3469
Peso del ladrillo saturado (gramos)	4099	3813	4028.5	3767	4009

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 24: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 10% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3451.3	3430	3432.2	3475.4	3440.3
Peso del ladrillo saturado (gramos)	3971.8	3957.9	3962.8	4005.5	3969.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 25: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 20% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3398.3	3425	3472.8	3382.6	3495.4
Peso del ladrillo saturado (gramos)	3978.3	4001	4053.4	3958.2	4072.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 26: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con 30% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3400.2	3472.5	3382.6	3449.1	3412.5
Peso del ladrillo saturado (gramos)	4021.7	4093.2	4002.1	4062.8	4035.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 27: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3385	3433.8	3479.1	3389.1	3400.5
Peso del ladrillo saturado (gramos)	4033.6	4079.7	4124.5	4035.5	4047.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 28: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3485.6	3398.8	3439.4	3408.5	3391.2
Peso del ladrillo saturado (gramos)	4075.8	3991.3	4032.7	4003.8	3984

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 29: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3395.4	3475.8	3453.2	3438.2	3401.4
Peso del ladrillo saturado (gramos)	3948.9	4022.3	4007.1	3984.1	3951.4

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 30: Datos del ensayo de absorción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Peso del ladrillo seco (gramos)	3488.6	3405.5	3447.4	3485.1	3391.4
Peso del ladrillo saturado (gramos)	4009.7	3916.2	3968.1	4001	3902.5

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.8. Tracción del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el ensayo de la tracción de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, "UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería" y la Norma Técnica ITINTEC 331.018, "ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA, Ladrillos de arcilla usados en albañilería requisitos".

#### A) Instrumentos y materiales

- **Máquina de compresión axial.**- Empleadas en laboratorio de la facultad de ingenierías.
- **Barras de acero sólido.**- De 12.7 mm +/- 10 mm de diámetro y 15 cm de longitud.
- **Plancha de soporte de acero.**- De 6 mm de espesor y 40 mm de ancho y con una longitud por lo menos igual al ancho del espécimen.
- **Yeso.**- Utilizado para uniformizar la superficie del ladrillo.
- **Regla metálica.**- Para determinar las dimensiones del ladrillo.
- **Muestra.**- Cinco ladrillos enteros.

#### B) Procedimiento

- Se tiene 5 muestras de ladrillos King Kong 18 huecos.
- A cada ladrillo se coloca el caping de yeso en la superficie en donde estará en contacto con las varillas y la placa metálica.

Foto N° 39: Nivelación de superficie del ladrillo con yeso



Fuente: Elaboración Propia

- Con la regla metálica se toman las dimensiones del ladrillo, siendo el ancho y el espesor.

Foto N° 40: Determinación del ancho y espesor del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se coloca el espécimen con la cara mayor más plana sobre los soportes asegurando que la luz entre estos sea de 21.4 cm, y en la parte superior del ladrillo se coloca la placa de acero.

Foto N° 41: Colocado del ladrillo en la máquina de compresión



Fuente: Elaboración Propia

- Se hace descender la placa de acero hasta obtener un contacto sobre la otra cara mayor del espécimen entre soportes y se aplica la carga.

Foto N° 42: Ensayo de la tracción por flexión del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

**C) Toma de datos**

Tabla N° 31: Datos del ensayo de tracción del ladrillo tradicional

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS KING KONG 18 HUECOS				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Espesor del ladrillo (cm)	9	8.9	9	9.2	9
	9.1	8.7	9.2	9	8.8
<b>Espesor promedio del ladrillo (cm)</b>	<b>9.05</b>	<b>8.8</b>	<b>9.1</b>	<b>9.1</b>	<b>8.9</b>
Ancho del ladrillo (cm)	13.9	13.8	13.7	13.9	13.8
	14	13.8	13.8	13.9	13.7
<b>Ancho promedio del ladrillo (cm)</b>	<b>13.95</b>	<b>13.8</b>	<b>13.75</b>	<b>13.9</b>	<b>13.75</b>
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	990	700	800	770	790
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 32: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 10% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	9	8.9	9.1	9.1	8.9
Ancho del ladrillo (cm)	13.9	13.8	14	13.9	14
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	850	960	900	830	910
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 33: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 20% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	8.9	8.9	9.1	9	8.9
Ancho del ladrillo (cm)	13.9	13.9	13.8	13.8	13.9
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	1040	930	1020	950	1010
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 34: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con 30% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	9.1	9	8.9	9	9.1
Ancho del ladrillo (cm)	13.9	13.9	14	14	14
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	810	840	820	780	750
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 35: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	8.9	9	8.9	8.8	8.9
Ancho del ladrillo (cm)	14	14	14	14	14
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	660	730	710	690	710
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 36: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	8.9	9	9.1	9	9
Ancho del ladrillo (cm)	13.8	13.8	13.9	13.8	13.8
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	780	800	730	740	750
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 37: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	9.1	9	8.9	9	9.1
Ancho del ladrillo (cm)	14	13.9	14	14	14
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	800	900	860	810	830
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 38: Datos del ensayo de tracción del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Altura del ladrillo (cm)	9	9.1	8.9	8.9	9.1
Ancho del ladrillo (cm)	14	14	14	14	14
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	990	870	900	880	910
Distancia entre apoyos (cm)	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.9. Resistencia a la compresión del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el ensayo de la resistencia a la compresión de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, "UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería" y la Norma Técnica ITINTEC 331.018, "ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA, Ladrillos de arcilla usados en albañilería requisitos".

#### A) Instrumentos y materiales

- **Máquina de compresión axial.**- Empleadas en laboratorio de la facultad de ingenierías.
- **Plancha de soporte de acero.**- De 10 mm de espesor con área mayor al área de asiento del ladrillo.
- **Yeso.**- Utilizado para uniformizar la superficie del ladrillo.
- **Regla metálica.**- Para determinar las dimensiones del ladrillo.
- **Muestra.**- Estará constituido por medios ladrillos (recomendación NTP 399.613), obtenidos por corte perpendicular a lo largo del espécimen.

#### B) Procedimiento

- A cada medio ladrillo se coloca el capping de yeso en la superficie en donde estará en contacto la compresora y la placa metálica, para garantizar una superficie plana y uniforme del ladrillo.



Foto N° 43: Colocado del capping al ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se toman las dimensiones del ladrillo para determinar el área de la cara de contacto de entre ladrillo y la máquina compresora.

Foto N° 44: Toma de dimensiones del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se coloca el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina y se hace descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen.

Foto N° 45: Proceso de ensayo de compresión del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

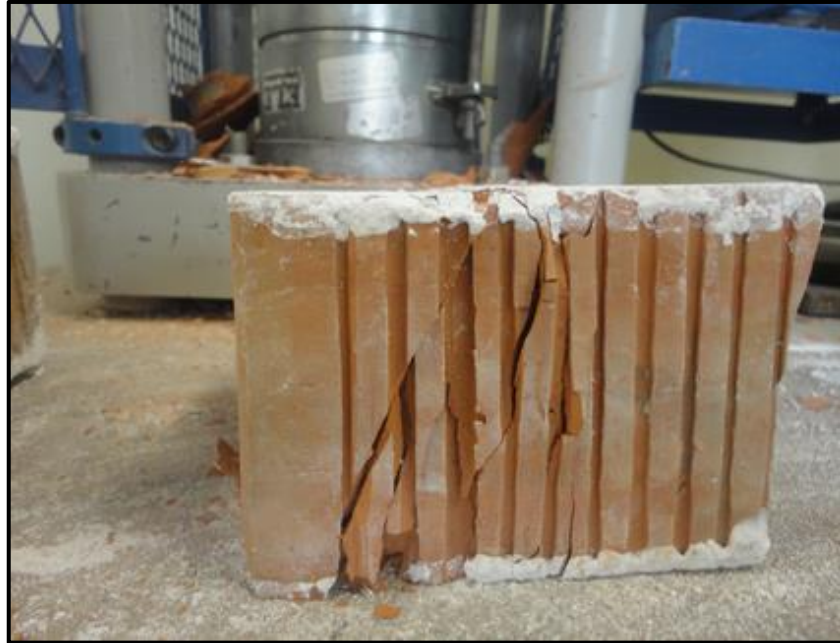
Las unidades llegaron a la rotura presentando dos tipos de fallas ya previstas: fallas por aplastamiento (de forma más común) y fallas por corte debido a la aplicación de carga vertical.

Foto N° 46: Falla por aplastamiento del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

Foto N° 47: Falla por corte del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

**C) Toma de datos**

Tabla N° 39: Datos del ensayo de compresión del ladrillo tradicional

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS KING KONG 18 HUECOS				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	172.6	182.4	162.15	171.3	164.91
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	169.1	179.9	165.6	182	189.74
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	170.8	181.2	163.88	176.6	177.32
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	23330	27600	32400	42610	41670

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 40: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 10% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	167.89	179	158.79	169.26	161.55
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	178.64	176.5	162.24	165.69	186.38
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	173.27	177.79	160.52	167.48	173.96
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	42960	27970	32750	23680	42040

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 41: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 20% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	168.46	178.2	157.99	167.09	160.75
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	164.89	175.7	161.44	177.84	185.58
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	166.68	176.99	159.72	172.47	173.16
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	25320	29610	34390	44600	43680

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 42: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con 30% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	175.06	167.4	164.59	173.69	184.84
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	171.49	192.2	168.04	184.44	182.34
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	173.28	179.76	166.32	179.07	183.59
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	25380	43740	34450	44660	29670

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 43: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	163.45	180.9	160.69	169.79	171.16
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	188.28	178.4	164.14	180.54	167.59
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	175.86	179.69	162.42	175.17	169.38
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	37900	23830	28610	38820	19540

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 44: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	159.15	165.5	156.39	176.64	166.86
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	183.98	176.2	159.84	174.14	163.29
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	171.56	170.87	158.12	175.39	165.08
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	39360	40280	30070	25290	21000

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 45: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	161.55	179	158.79	167.89	169.26
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	186.38	176.5	162.24	178.64	165.69
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	173.96	177.79	160.52	173.27	167.48
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	41140	27070	31850	42060	22780

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 46: Datos del ensayo de compresión del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Area cara superior (cm <sup>2</sup> )	167.06	165.7	156.59	176.84	159.35
Area cara inferior (cm <sup>2</sup> )	163.49	176.4	160.04	174.34	184.18
Area promedio (cm <sup>2</sup> )	165.28	171.07	158.32	175.59	171.76
Carga aplicada al ladrillo (Kg)	24390	43670	33460	28680	42750

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.10. Conductividad térmica del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para determinar la conductividad térmica del ladrillo se basaron estrictamente 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-Plate Apparatus**, donde se estipulan los procedimientos para hallar la conductividad térmica de los materiales, que en este caso se le aplicará al ladrillo King Kong 18 huecos.

#### A) Instrumentos

- **Equipo eléctrico para medir la Conductividad Térmica.**- El equipo que mide la conductividad térmica el ladrillo tiene en su interior un ambiente totalmente aislado del medio ambiente, puesto que está forrado con madera y tecnopor la cual contiene placa de aluminio caliente y placa de aluminio frío, este módulo se diseñó estrictamente de acuerdo como se estipula en la norma ASTM C177-13.

- **Fuente de voltaje variable.-** Se encarga de suministrar energía eléctrica a la placa caliente, esta fuente tiene un rango de variación desde 0 voltios hasta 220 voltios de voltaje alterna, los cuales son controlados desde un potenciómetro.
- **Multímetro.-** El multímetro digital determina con precisión el voltaje que se suministra al módulo medidor de conductividad térmica.
- **Sensores de temperatura.-** los termómetros digitales consisten en sensores industriales tipo k, que tienen un rango de medición de temperatura desde  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- **Vernier.-** Para determinar las dimensiones del ladrillo.

### B) Procedimiento.

- Primero se toman las dimensiones de los dos ladrillos seleccionados para el ensayo es decir el largo, ancho y el espesor del ladrillo King Kong 18 huecos puesto que la conductividad térmica del ladrillo está en función de estos parámetros mencionados.

Foto N° 48: Medición de las dimensiones del ladrillo



Fuente: Elaboración Propia

- Se colocan los dos sensores de temperatura, el primer sensor va conectada a la placa caliente de aluminio (placa central) y el segundo sensor va conectada a la placa fría de aluminio (placa superior).



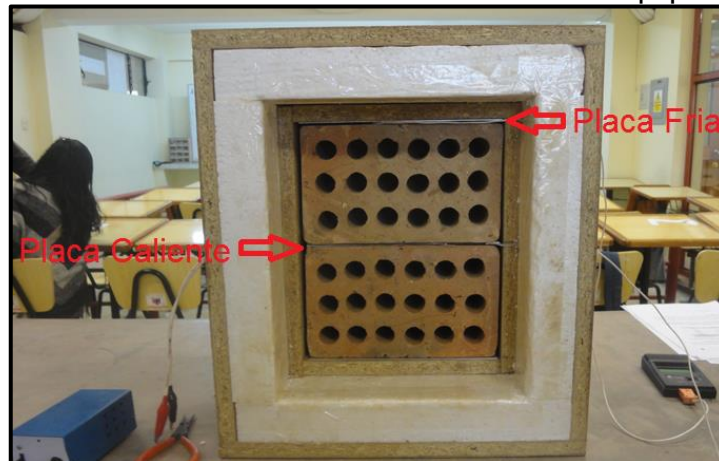
Foto N° 49: Colocación de los sensores



Fuente: Elaboración Propia

- Se colocan los dos ladrillos en el equipo eléctrico, siguiendo las indicaciones de la norma ASTM C177-13, colocándose primero la placa fría de aluminio, seguidamente el ladrillo King Kong 18 huecos, luego la placa caliente de aluminio, sobre esta el otro ladrillo King Kong 18 huecos y finalmente la segunda placa fría de aluminio, como se muestra en la figura.

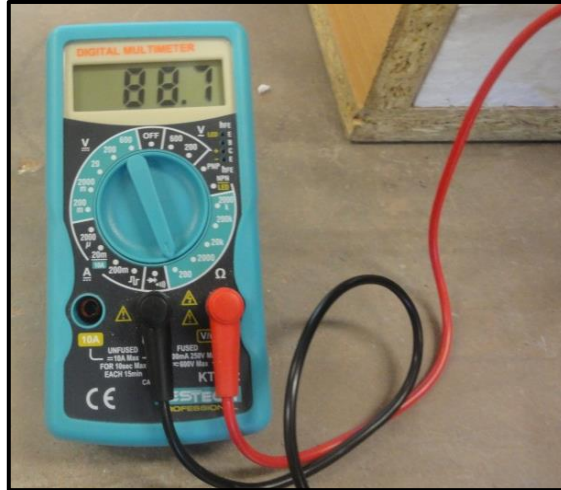
Foto N° 50: Colocación de los ladrillos en el equipo eléctrico



Fuente: Elaboración Propia

- La placa caliente se conecta a la fuente de voltaje regulable a un potencial de 52 voltios, puesto que la resistencia de la placa caliente es 88.7 ohmios, por lo tanto para una potencia de 30 watts le corresponde un voltaje de 52 voltios.

Foto N° 51: Medición del ohmiaje de la placa caliente



Fuente: Elaboración Propia

$$Pot = \frac{V^2}{R}; \quad \text{Si } Pot = 30 \text{ watts}$$

$$V = \sqrt{Pot * R} = \sqrt{30 * 88.7} = 52 \text{ voltios}$$

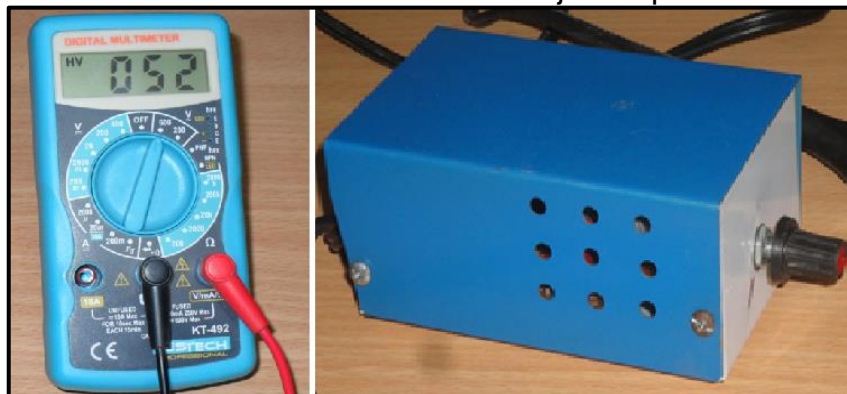
Donde:

Pot = Potencia eléctrica, Watt

V = Tensión de energía eléctrica, Voltio

R = Resistencia eléctrica, Ohmio

Foto N° 52: Suministro de voltaje a la placa caliente



Fuente: Elaboración Propia

- Luego de calibrar los instrumentos eléctricos a los valores deseados, se cierra la compuerta del equipo eléctrico para aislar térmicamente del medio ambiente, para que la temperatura de la placa caliente traspase el ladrillo, por lo tanto se debe de verificar constantemente la lectura de los sensores de temperatura.

Foto N° 53: Control del voltaje y temperatura del módulo



Fuente: Elaboración Propia

- Cuando el sensor de temperatura de la placa fría empieza a marcar, indica que la temperatura de la placa caliente traspasó los 14 centímetros del ladrillo King Kong 18 huecos, en este instante se dio lectura a los sensores de temperatura siendo:

Foto N° 54: Temperatura final de los sensores en las placas



Fuente: Elaboración Propia

**C) Toma de datos**

Tabla N° 47: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo tradicional

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS KING KONG 18 HUECOS				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.238	0.24	0.239	0.24	0.24
Ancho (m)	0.139	0.138	0.139	0.14	0.138
Espesor (m)	0.089	0.09	0.09	0.09	0.089
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria (°C)	52.3	53.1	52.5	52.3	53.4
Temperatura placa fria (°K = °C + 273.15)	325.5	326.3	325.65	325.5	326.55
Temperatura placa caliente (C°)	350	349	352	351	349
Temperatura placa caliente (°K = C° + 273.15)	623.2	622.2	625.15	624.2	622.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 48: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 10% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.238	0.239
Ancho (m)	0.138	0.14	0.138	0.139	0.139
Espesor (m)	0.089	0.09	0.09	0.089	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria (°K = °C + 273.15)	324.03	322.93	323.73	322.93	323.13
Temperatura placa caliente (°K = C° + 273.15)	635.25	637.25	635.25	636.25	638.25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 49: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 20% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Ancho (m)	0.138	0.138	0.138	0.139	0.138
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria (°K = °C + 273.15)	326.63	325.53	326.33	325.53	325.73
Temperatura placa caliente (°K = C° + 273.15)	651.7	653.7	651.7	652.7	654.7

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 50: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con 30% de puzolana global

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Ancho (m)	0.14	0.14	0.138	0.14	0.14
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	324.53	324.33	325.13	324.33	325.43
Temperatura placa caliente ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	687.3	686.3	684.3	685.3	684.3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 51: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 16

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Ancho (m)	0.138	0.14	0.14	0.14	0.14
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	327.33	326.53	327.63	326.53	326.73
Temperatura placa caliente ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	719.3	720.56	719.12	720.42	721.6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 52: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 30

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Ancho (m)	0.138	0.139	0.138	0.139	0.138
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	327.93	326.83	327.63	326.83	327.03
Temperatura placa caliente ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	687.82	689.26	688	689.12	690.3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 53: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 50

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.239	0.24	0.239	0.239	0.24
Ancho (m)	0.138	0.139	0.14	0.14	0.138
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	326.43	325.33	326.13	325.33	325.53
Temperatura placa caliente ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	662.42	663.86	662.6	663.72	664.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 54: Datos del ensayo de conductividad térmica del ladrillo con puzolana del tamiz N° 100

DESCRIPCIÓN	LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA				
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Largo (m)	0.239	0.24	0.239	0.238	0.238
Ancho (m)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Espesor (m)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Potencia (watts)	30	30	30	30	30
Temperatura placa fria ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	328.03	325.93	326.73	328.01	327.95
Temperatura placa caliente ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$ )	642.92	644.36	643.1	644.22	645.4

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.11. Variación dimensional del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el ensayo de la tracción de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, "UNIDADES DE ALBAÑILERÍA.

#### A) Instrumentos

- **Regla metálica.-** Regla de acero graduada, de 30 cm.

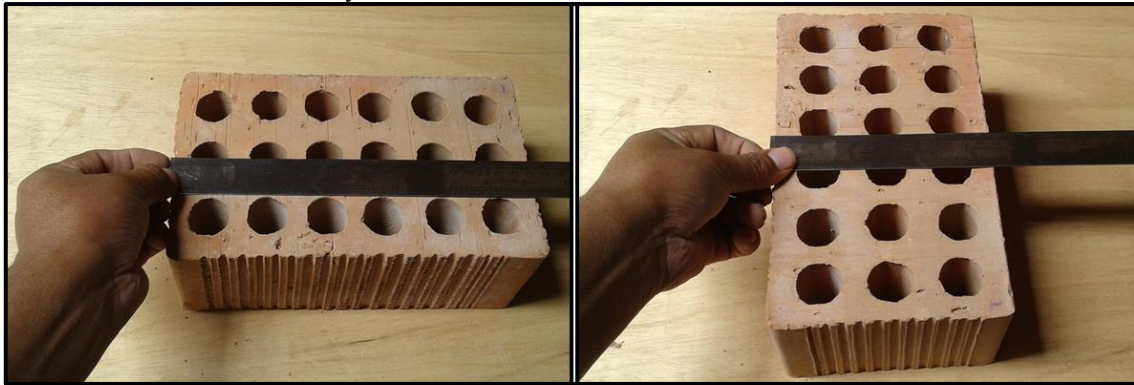
#### B) Procedimiento.

- Se mide el largo a través de ambas caras y ambos extremos desde los puntos medios de los bordes que limitan las caras, registrar estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm, y registrar como largo su promedio con una aproximación de 0.5 mm.



- Se miden el ancho a través de los dos extremos y en ambas caras, desde el punto medio de los bordes que limitan las caras, se registran las cuatro medidas con una aproximación de 1 mm y registrar como ancho el promedio de las medidas, como una aproximación de 0.5 mm.

Foto N° 55: Ensayo de la variación dimensional del ladrillo.



Fuente: Elaboración Propia

- Se mide la altura a través de ambas caras y ambos extremos desde los puntos medios de los bordes que limitan las caras, registrar estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm, y registrar como altura su promedio con una aproximación de 0.5 mm.

**C) Toma de datos.**

Tabla N° 55: Datos del ensayo de variación dimensional del ladrillo.

UND	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A4 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)
1	23.5	23.5	23.5	23.5	13.8	14	13.8	14	9	8.9	9.1	9.1
2	23.5	23.6	23.5	23.5	13.8	13.9	13.8	13.7	9	8.9	9	9
3	23.6	23.5	23.4	23.4	13.8	13.7	13.8	13.8	9	8.9	8.9	8.9
4	23.5	23.9	23.5	23.4	13.7	13.8	13.7	13.5	9	9.3	9	9
5	23.5	23.5	23.4	23.5	13.8	13.9	13.8	13.8	9	8.9	9.1	8.9
6	23.5	23.5	23.5	23.5	13.8	13.8	13.8	13.8	9	8.9	8.9	9
7	23.6	23.9	23.5	23.5	13.8	13.7	13.8	13.7	9	8.9	9	9
8	23.6	23.6	23.5	23.4	13.8	13.9	13.7	13.8	9	8.9	9	9
9	23.5	23.6	23.5	23.5	13.7	13.8	13.8	13.8	9	9.3	8.9	9.1
10	23.5	23.5	23.4	23.5	13.8	13.8	13.7	13.8	9	8.9	9	9.1

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.12. Alabeo del ladrillo King Kong 18 huecos.

Para el ensayo de la tracción de los ladrillos, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma Técnica Peruana 399.613, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA”.

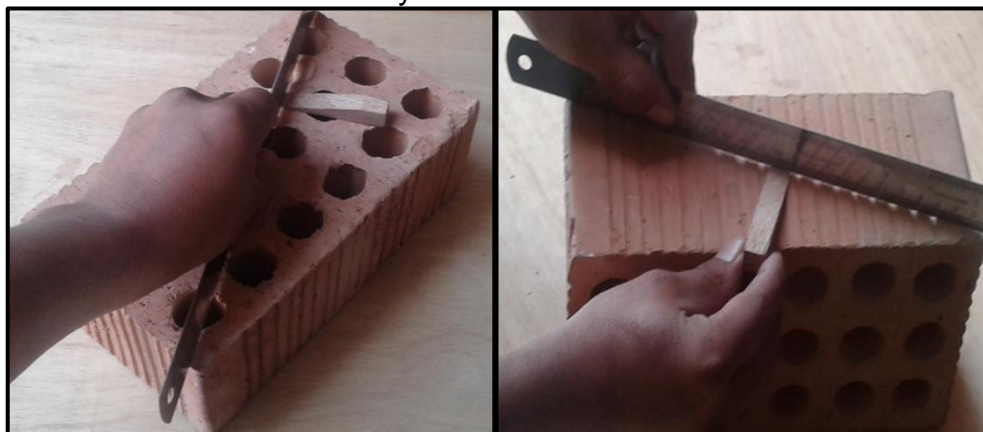
#### A) Instrumentos

- **Regla metálica.-** Regla de acero graduada, de 30 cm.
- **Cuña metálica.-** Cuña graduada en milímetros.

#### B) Procedimiento

- Para medir la superficie cóncava, se colocará la regla metálica de borde recto longitudinal o diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida, adoptándose la ubicación que da la mayor desviación de la línea recta. Escoger la distancia mayor de la superficie del espécimen a la regla de borde recto. Usando la regla de acero o cuña medir esta distancia con una aproximación de 1 mm y registrarla como la distorsión cóncava de la superficie.
- Para el borde cóncavo, colocar la regla metálica de borde recto entre los extremos del borde cóncavo a ser medido. Seleccionar la distancia más grande desde el borde del espécimen a la regla metálica con borde recto. Usando la regla de acero o cuña, medir esta distancia con una aproximación de 1 mm, y registrarla como la distorsión cóncava del borde.

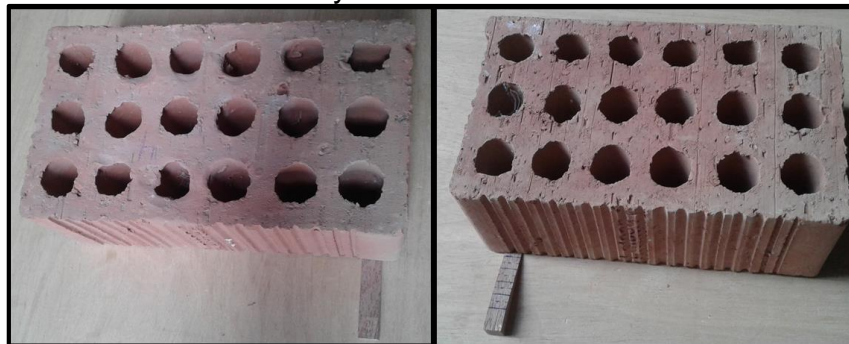
Foto N° 56: Ensayo de la concavidad del ladrillo.



Fuente: Elaboración Propia

- Para medir la superficie convexa, colocar el espécimen con la superficie convexa en contacto con una superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes de la superficie plana. Usando la regla de acero o cuña, medir la distancia con una aproximación de 1 mm de cada una de las 4 esquinas desde la superficie plana. Registrar el promedio de las 4 medidas como la distorsión convexa del espécimen.
- Cuando la distorsión a ser medida es la de un borde convexo, colocar la regla metálica de bordes rectos entre los extremos del borde convexo. Seleccionar la distancia más grande del borde del espécimen a la regla. Usando la regla de acero o cuña, medir esta distancia con una aproximación de 1 mm y registrarla como la distorsión convexa del borde.

Foto N° 57: Ensayo de la convexidad del ladrillo.



Fuente: Elaboración Propia

**C) Toma de datos**

Tabla N° 56: Datos del ensayo de alabeo del ladrillo.

UNIDAD	SUPERFICIE CÓNCAVA (mm)	BORDE CÓNCAVO (mm)	SUPERFICIE CONVEXA (mm)	BORDE CONVEXO (mm)
1	1	1.5	1	1
2	1	1	1.5	0
3	1	1	1.5	1
4	1	0	1.5	1.5
5	1	0	1	1
6	1	1	1.5	0
7	1	1	1.5	0
8	1	1.5	1	0
9	1	1	1.5	1.5
10	1	0	1.5	1

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. Procedimiento de análisis de datos

#### 3.6.1 Recolección de la puzolana

##### 3.6.1.1. Cálculos de la prueba

Se tomó la muestra de puzolana en distintos puntos con respecto a la distancia del volcán Quinsachata, excavando el terreno hasta una profundidad de 0.5 metros, considerando tres indicadores de selección de la puzolana.

Tabla N° 57: Características de la puzolana natural

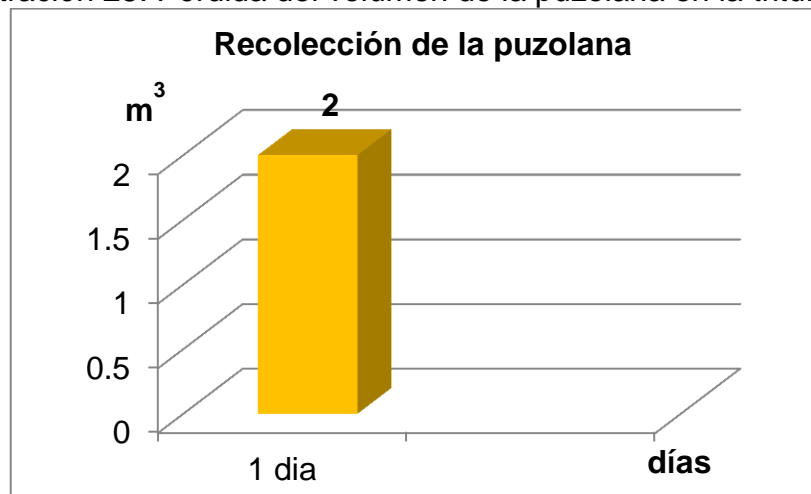
Peso	Ligero
Color	Plomo uniforme
Cantidad	2 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración Propia

##### 3.6.1.2. Diagramas

La puzolana seleccionada se transportó en lomo durante 1 día, utilizando costales de polietileno, se recolectó un total de 2 m<sup>3</sup> de puzolana natural.

Ilustración 25: Pérdida del volumen de la puzolana en la trituración



Fuente: Elaboración Propia

##### 3.6.1.3. Análisis de la prueba

La puzolana natural seleccionada es de color plomo uniforme, no tiene impregnado sustancias ni partículas, tiene peso ligero y se fragmenta fácilmente con la presión de los dedos.

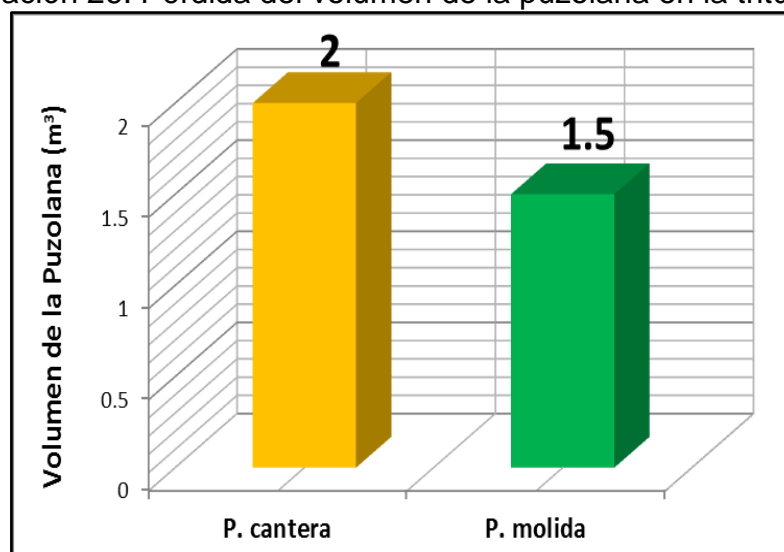
### 3.6.2. Molienda de la puzolana

#### 3.6.2.1. Cálculos de la prueba

La primera etapa para la elaboración del ladrillo King Kong 18 huecos adicionado con puzolana de la cantera Raqchi es la molienda de la puzolana, puesto que dicho material en cantera se encuentra en tamaños diversos desde  $3/8$  hasta  $3/4$ , por lo tanto esta puzolana se trituró utilizando el molino triturador de la ladrillera Latesa.

#### 3.6.2.2. DIAGRAMAS

Ilustración 26: Pérdida del volumen de la puzolana en la trituration



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.6.2.3. Análisis de la prueba

La cantidad que se obtuvo fue de  $2 \text{ m}^3$  de puzolana en cantera, las cuales se encuentran en su forma natural, en el proceso de la molienda y trituración el material se redujo a  $1.5 \text{ m}^3$ , esto se debe a que la puzolana contiene vacíos, por lo tanto al convertirse en polvo estos vacíos son ocupados por la puzolana.

### 3.6.3 Granulometría de la puzolana

#### 3.6.3.1. Cálculos de la prueba

Tomando en cuenta el peso del recipiente y la puzolana retenida en cada tamiz del juego de tamices para el agregado fino, se realizó los cálculos para determinar el peso de la puzolana retenida en cada tamiz, teniendo los resultados como se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla N° 58: Granulometría de puzolana triturada de la cantera Raqchi

Peso de la Puzolana	1000 gramos
Peso del Recipiente	84.5 gramos

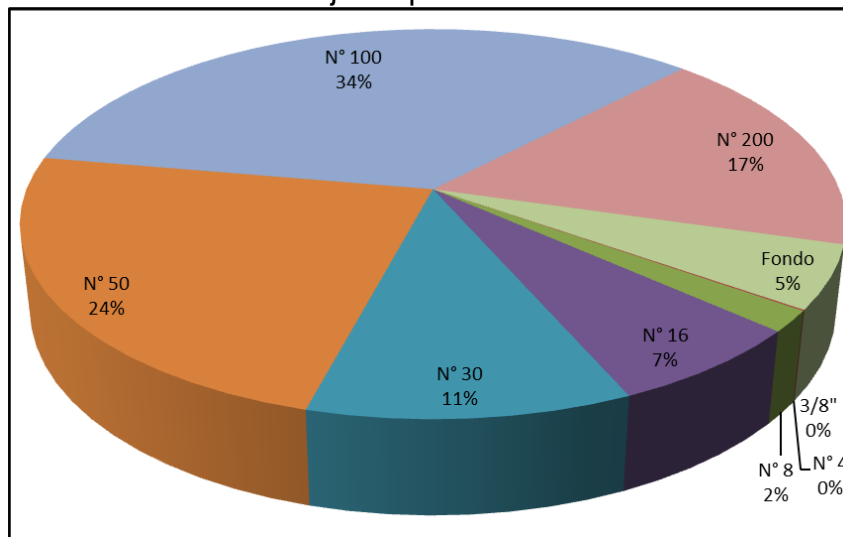
Tamiz	peso retenido + peso recipiente	peso retenido
	gramos	gramos
3/8"	84.5	0
N° 4	85.3	0.8
N° 8	102	17.5
N° 16	152.6	68.1
N° 30	191.8	107.3
N° 50	319.3	234.8
N° 100	427.8	343.3
N° 200	256.8	172.3
Fondo	136.7	52.2
<b>Total</b>		<b>996.3</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.3.2. Diagramas

Se tiene la distribución de tamaños de la puzolana en la proporción como se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 27: Porcentaje de puzolana retenida en cada tamiz



Fuente: Elaboración Propia



### 3.6.3.3. Análisis de la prueba

Después de tamizar la puzolana en el juego de tamices para agregado fino, en la siguiente tabla se observó que la mayor cantidad del material quedó retenida en la malla N° 100 con un 34%, y la menor cantidad de puzolana quedó retenida en la malla N° 4 con un 0.1 % de la cantidad tamizada.

De estas proporciones se fabricaron ladrillos adicionados al 10% con puzolana retenida en la malla N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100; así mismo se fabricaron ladrillos adicionados al 10%, 20% y 30% de puzolana global, es decir puzolana que pasó la malla N° 4 hasta el fondo.

### 3.6.4 Dosificación de ladrillos King Kong 18 huecos

#### 3.6.4.1. Cálculos de la prueba

##### A).- Ladrillo tradicional King Kong 18 huecos

El peso del ladrillo crudo recientemente obtenido de la moldeadora es 4680.4 gramos, este peso representa la suma de los pesos de la arcilla más el agua.

$$\text{Peso de arcilla} + \text{peso de agua} = 4680.4 \text{ gramos}$$

El peso del ladrillo cocido es 3441.18 gramos, por lo tanto el peso de arcilla en un ladrillo King Kong 18 huecos viene a ser 3441.18 gramos, puesto que el ladrillo recientemente obtenido del horno contiene 0% de agua.

$$\text{Peso de arcilla en un ladrillo king kong} = 3441.18 \text{ gramos}$$

Para determinar el peso del agua en un ladrillo, simplemente se resta el peso del ladrillo crudo menos el peso del ladrillo cocido, resultando de esta manera.

$$\text{Peso del agua} = \text{Peso del ladrillo crudo} - \text{Peso del ladrillo cocido}$$

$$\text{Peso del agua} = 4680.4 - 3441.18$$

$$\text{Peso del agua} = 1239.22 \text{ gramos}$$

Teniendo los pesos de agua y arcilla en un ladrillo podemos determinar los porcentajes de pesos de los materiales que compone un ladrillo tradicional.

$$\text{Arcilla en un ladrillo} = \frac{3441.18}{4680.4} * 100\% = 73.5\%$$

$$\text{Agua en un ladrillo} = \frac{1239.22}{4680.4} * 100\% = 26.5\%$$

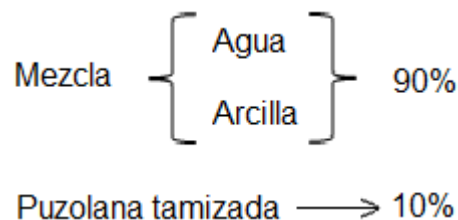
El ladrillo tradicional está compuesto por una mezcla de agua y arcilla, dosificadas de la siguiente manera:

Tabla N° 59: Dosificación del ladrillo tradicional King Kong 18 huecos

DOSIFICACIÓN DE UN LADRILLO KING KONG TRADICIONAL			
Descripción	Peso (gramos)	Peso (kilos)	Porcentaje (%)
Peso del ladrillo crudo	4680.4	4.68	100%
Peso del ladrillo quemado	3441.18	3.44	73.5%
Agua en el ladrillo	1239.22	1.24	26.5%
Arcilla en el ladrillo	3441.18	3.44	73.5%

Fuente: Elaboración Propia

### B).- Ladrillo adicionado con puzolana tamizada



Si el ladrillo crudo está compuesto de la mezcla de arcilla y agua, y el peso del ladrillo crudo es 4.68 kilogramos, el 10% de este peso será 0.47 kilogramos, por lo tanto el peso de puzolana tamizada que se adiciona a la masa cerámica del ladrillo será de 0.47 kilogramos.

### B1.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 16

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana al 10%, se utilizó puzolana retenida entre los tamices (N° 8 – N° 16), por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 60: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 16

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	42.12	90%
Puzolana tamizada (N° 8 - N° 16)	4.68	10%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**B2.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 30**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana al 10%, se utilizó puzolana retenida entre los tamices (N° 16 – N° 30), por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 61: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 30

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	42.12	90%
Puzolana tamizada (N° 16 - N° 30)	4.68	10%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**B3.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 50**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana al 10%, se utilizó puzolana retenida entre los tamices (N° 30 – N° 50), por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 62: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 50

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	42.12	90%
Puzolana tamizada (N° 30 - N° 50)	4.68	10%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**B4.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 100**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana al 10%, se utilizó puzolana retenida entre los tamices (N° 50 – N° 100), por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 63: Dosificación para ladrillos con puzolana del tamiz N° 100

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	42.12	90%
Puzolana tamizada (N° 50 - N° 100)	4.68	10%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**C).- Ladrillo adicionado con puzolana global****C1.- Dosificación de ladrillos con puzolana global al 10%**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana global al 10%, se utilizó puzolana que pasó el tamiz N° 4 hasta el fondo, por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 64: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 10%

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 10% DE PUZOLANA GLOBAL</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	42.12	90%
Puzolana global al 10%	4.68	10%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**C2.- Dosificación de ladrillos con puzolana global al 20%**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana global al 20%, se utilizó puzolana que pasó el tamiz N° 4 hasta el fondo, por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 65: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 20%

<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 20% DE PUZOLANA GLOBAL</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	37.44	80%
Puzolana global al 20%	9.36	20%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**C3.- Dosificación de ladrillos con puzolana global al 30%**

Se elaboraron 10 ladrillos adicionados con puzolana global al 30%, se utilizó puzolana que pasó el tamiz N° 4 hasta el fondo, por lo tanto se requieren los siguientes materiales:

Tabla N° 66: Dosificación para ladrillos con puzolana global al 30%

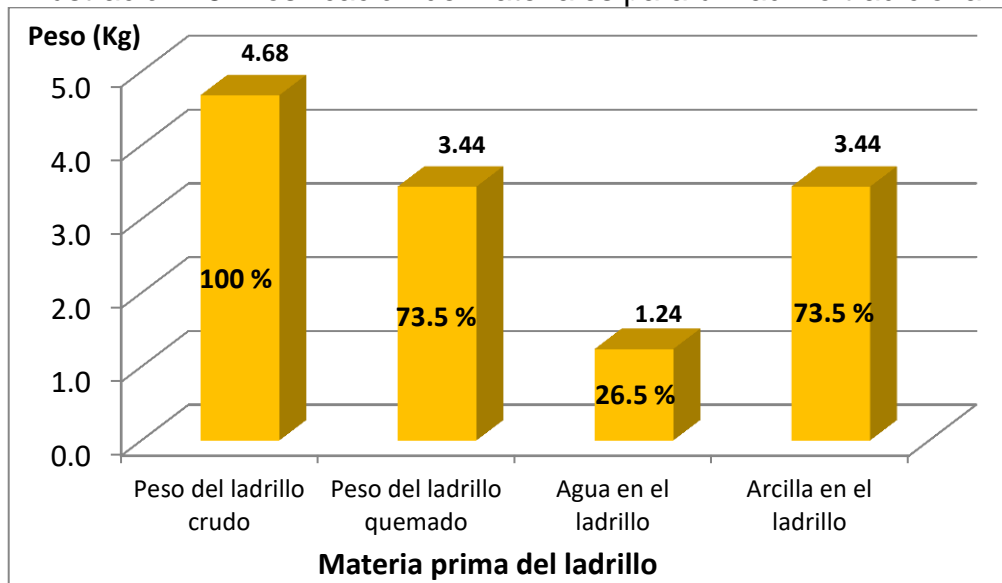
<b>DOSIFICACIÓN PARA 10 LADRILLOS CON 30% DE PUZOLANA GLOBAL</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Mezcla agua y arcilla	32.76	70%
Puzolana global al 30%	14.04	30%
Masa cerámica del ladrillo con puzolana	46.80	100%

Fuente: Elaboración Propia

**3.6.4.2. Diagramas**

**A).- Ladrillo tradicional King Kong 18 huecos**

Ilustración 28: Dosificación de materiales para un ladrillo tradicional

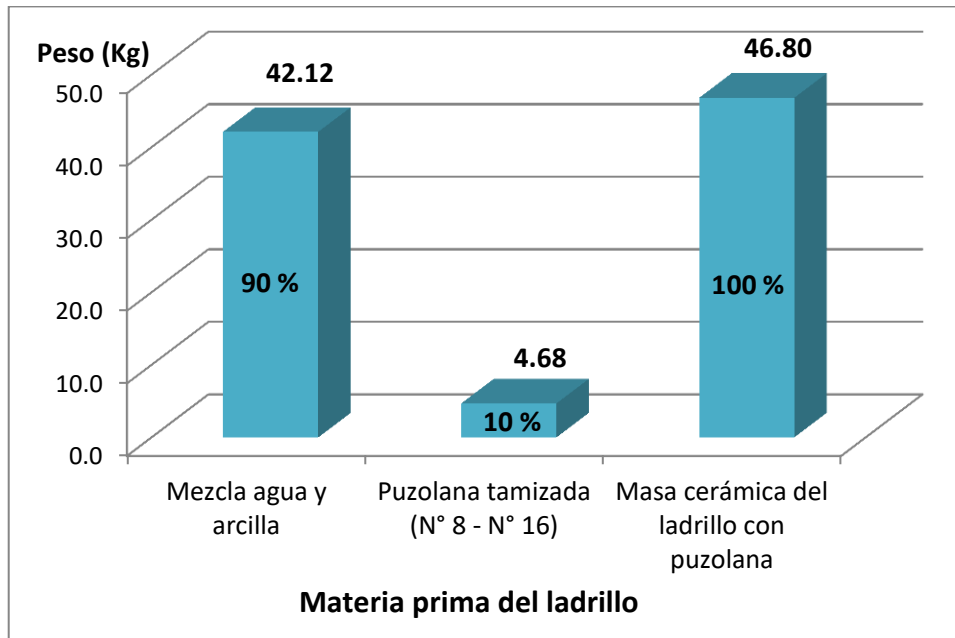


Fuente: Elaboración Propia

**B).- Ladrillo adicionado con puzolana tamizada**

**B1.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 16**

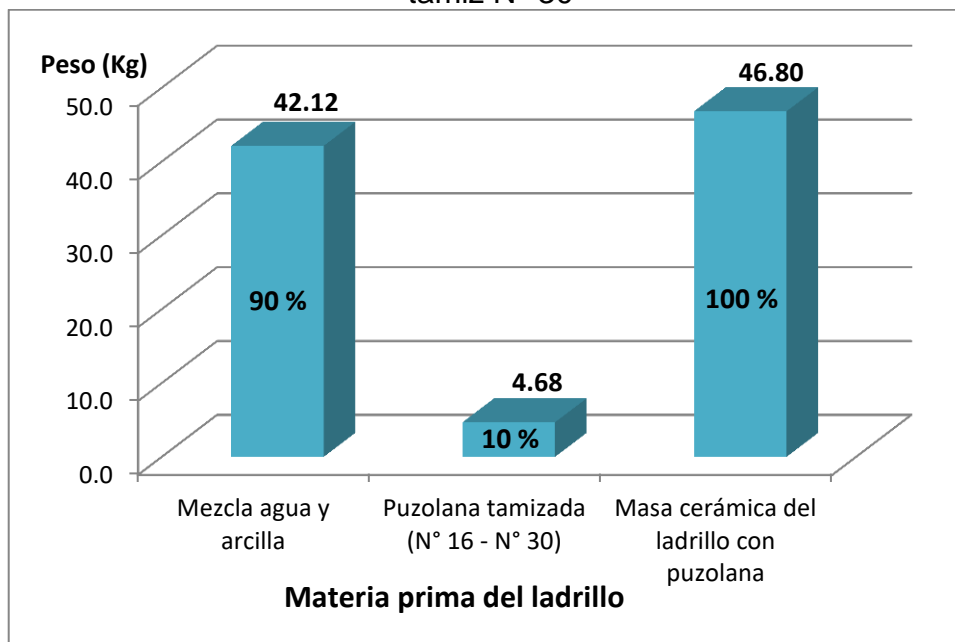
Ilustración 29: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 16



Fuente: Elaboración Propia

**B2.- Dosificación de ladrillos con puzolana del tamiz n° 30**

Ilustración 30: Dosificación de materiales para 10 ladrillos con puzolana del tamiz N° 30



Fuente: Elaboración Propia