



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO -
MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN
LA PROVINCIA DE CAJAMARCA.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autora:

Fanny Carmen Lulichac Sáenz

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

Cajamarca – Perú

2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Fanny Carmen Lulichac Sáenz**, denominada:

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS
UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA.”**

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Anita Alva Sarmiento
JURADO

Ing. Teresa Chávez Toledo
JURADO

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme la fortaleza y haberme iluminado para seguir adelante y permitirme llegar a este punto de la vida de poder realizar este proyecto.

A MI MADRE ELVIRA

Por haberme demostrado con hechos el sacrificio de trabajar arduamente y la recompensa del esfuerzo; y porque sin ella yo no estaría aquí.

A MI PADRE ALINDOR

Por estar siempre pendiente de mí y mi carrera, por su apoyo incondicional y animarme a seguir luchando en al arduo camino de la vida.

A MI HERMANO

Porque a pesar de la distancia siempre me brinda su apoyo. Te quiero mucho.

A MI ABUELITA

A mí adorada abuelita Juanita por ser parte de mis alegrías y tristezas, por saber escucharme, darme sus consejos, su ternura, y sobre todo darme mucho amor.

AGRADECIMIENTO

Para la realización del presente trabajo de investigación, conté con el apoyo de muchas personas, a las cuales quisiera agradecer

A mis padres porque siempre me brindaron su apoyo para terminar mi carrera que será para mi futuro, eso se los debo a ustedes.

A mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno por su asesoría y gran apoyo en la revisión y contribución de la presente investigación.

Al Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga por su gran apoyo y las facilidades brindadas en el proceso de elaborar los ensayos respectivos para la presente investigación.

Al señor Víctor encargado del laboratorio de ensayos de la UPN, por las facilidades y el apoyo brindado para la realización de los ensayos necesarios en esta tesis.

A todas las personas que de alguna manera han colaborado en esta investigación y en mi formación profesional.

¡Muchas gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Bases Teóricas	10
2.2.1. <i>Aspectos generales</i>	10
2.2.2. <i>Unidad de Albañilería</i>	10
2.2.3. <i>Tipología</i>	12
2.2.4. <i>Limitaciones de aplicación estructural para los tipos de unidades de albañilería</i>	14
2.2.5. <i>Clasificación para fines estructurales</i>	15
2.2.6. <i>La desviación estándar</i>	16
2.2.7. <i>Propiedades de las unidades de albañilería</i>	19
2.2.8. <i>Propiedades de la albañilería simple</i>	29
2.2.9. <i>Mortero</i>	31
2.3. Definición de términos básicos	37
2.4. Marco Normativo	39
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	41
3.1. Formulación de la hipótesis	41
3.2. Operacionalización de variables	41

CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL	44
4.1. Ubicación de las ladrilleras	44
4.2. Descripción de la actividad ladrillera.....	45
4.2.1. <i>Etapas de la actividad</i>	45
4.3. Procedimiento de los ensayos	55
4.3.1. <i>Ensayos a la unidad de albañilería</i>	55
4.3.2. <i>Ensayos a la albañilería simple</i>	61
4.3.3. <i>Ensayos al mortero</i>	62
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
5.1. Tipo de diseño de investigación.....	64
5.2. Material de estudio.....	64
5.2.1. <i>Unidad de estudio</i>	64
5.2.2. <i>Población</i>	64
5.2.3. <i>Muestra</i>	64
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	66
5.3.1. <i>Técnica del muestreo</i>	66
5.3.2. <i>Procedimientos</i>	66
5.3.3. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	66
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	67
6.1. Ensayo de Variación dimensional.....	67
6.1.1. <i>Resultados</i>	67
6.1.2. <i>Resumen</i>	73
6.2. Ensayo de Alabeo	74
6.2.1. <i>Resultados</i>	74
6.2.2. <i>Resumen</i>	75
6.3. Ensayo de Resistencia a la Compresión de la unidad de Albañilería (f'_b).....	76
6.3.1. <i>Resultados</i>	76
6.3.2. <i>Resumen</i>	77
6.4. Ensayo de Tracción por Flexión (f_{tb})	78
6.4.1. <i>Resultados</i>	78
6.4.2. <i>Resumen</i>	80
6.5. Densidad y Humedad natural	81
6.5.1. <i>Resultados</i>	81
6.5.2. <i>Resumen</i>	82
6.6. Succión.....	83
6.6.1. <i>Resultados</i>	83
6.6.2. <i>Resumen</i>	84
6.7. Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación	85
6.7.1. <i>Resultados</i>	85
6.7.2. <i>Resumen</i>	87
6.8. Ensayo de Pilas	88
6.8.1. <i>Resultados</i>	88
6.8.2. <i>Resumen</i>	91

6.9.	Ensayo de Mortero	92
6.9.1.	<i>Resultados</i>	92
6.9.2.	<i>Resumen</i>	93
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN		94
7.1.	Ensayo de Variación dimensional	94
7.1.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	94
7.2.	Ensayo de Alabeo	95
7.2.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	95
7.3.	Ensayo de Resistencia a la Compresión de la unidad de Albañilería (f'_b)	95
7.3.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	95
7.4.	Ensayo de Tracción por Flexión (f_{tb})	97
7.4.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	97
7.5.	Peso específico y Humedad natural	98
7.5.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	98
7.6.	Succión	99
7.6.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	99
7.7.	Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación	100
7.7.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	100
7.8.	Ensayo de Pilas	102
7.8.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	102
7.9.	Ensayo de Mortero	103
7.9.1.	<i>Interpretación de resultados</i>	103
CONCLUSIONES		105
RECOMENDACIONES		108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		109
ANEXOS		111
Anexo A		112
Anexo B		165
Anexo C		168

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla N° 1.	Aplicabilidad de los métodos de formado a las diferentes materias primas para unidades de albañilería.....	11
Tabla N° 2.	Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales..	15
Tabla N° 3.	Clasificación de la unidad de Albañilería para fines estructurales.....	15
Tabla N° 4.	Coeficientes de variación representativos de materiales de ingeniería.....	17
Tabla N° 5.	Coeficientes de variación de la resistencia en compresión de unidades de Albañilería para diferentes fábricas peruanas.....	18
Tabla N° 6.	Propiedades generales de las unidades de Albañilería.....	20
Tabla N° 7.	Variación dimensional según la norma E.070.....	21
Tabla N° 8.	Alabeo según la norma E.070.....	23
Tabla N° 9.	Resistencia a compresión en unidades según la norma E.070.....	24
Tabla N° 10.	Valores mínimos de módulo de ruptura según el tipo de ladrillo.....	25
Tabla N° 11.	Valores de densidad según la norma ITINTEC 331.017.....	26
Tabla N° 12.	Resistencia a compresión en pilas según la norma E.070 de Albañilería...	30
Tabla N° 13.	Factores de corrección de f'm por esbeltez según la norma E.070.....	30
Tabla N° 14.	Factores de corrección de f'm por esbeltez según NTP 339.605.....	31
Tabla N° 15.	Granulometría del agregado.....	33
Tabla N° 16.	Proporción cemento y arena.....	33
Tabla N° 17.	Proporción cemento, cal y arena.....	33

Capítulo 5

Tabla N° 18.	Número de especímenes para las unidades de albañilería.....	65
Tabla N° 19.	Número de especímenes para la Albañilería simple.....	65
Tabla N° 20.	Número de especímenes en total.....	65

Capítulo 6

Variación dimensional

Tabla N° 21.	Longitud - Cerrillo Parte Alta.....	67
Tabla N° 22.	Ancho - Cerrillo Parte Alta.....	68
Tabla N° 23.	Altura - Cerrillo Parte Alta.....	68

Tabla N° 24.	Largo - Cerrillo Parte Baja.....	69
Tabla N° 25.	Ancho - Cerrillo Parte Baja.....	69
Tabla N° 26.	Altura- Cerrillo Parte Baja.....	70
Tabla N° 27.	Largo - Santa Bárbara.....	70
Tabla N° 28.	Ancho - Santa Bárbara.....	71
Tabla N° 29.	Altura - Santa Bárbara.....	71
Tabla N° 30.	Largo – Rumipampa.....	72
Tabla N° 31.	Ancho – Rumipampa.....	72
Tabla N° 32.	Altura – Rumipampa.....	73
Tabla N° 33.	Resumen de dimensiones promedio para cada ladrillera.....	73
Alabeo		
Tabla N° 34.	Cerrillo Parte Alta.....	74
Tabla N° 35.	Cerrillo Parte Baja.....	74
Tabla N° 36.	Santa Bárbara.....	75
Tabla N° 37.	Rumipampa.....	75
Tabla N° 38.	Resumen del Alabeo promedio para cada ladrillera.....	75
Resistencia a compresión en unidades		
Tabla N° 39.	Cerrillo Parte Alta.....	76
Tabla N° 40.	Cerrillo Parte Baja.....	76
Tabla N° 41.	Santa Bárbara.....	77
Tabla N° 42.	Rumipampa.....	77
Tabla N° 43.	Resumen de resistencia a compresión promedio para cada ladrillera.....	77
Tracción por flexión		
Tabla N° 44.	Cerrillo Parte Alta.....	78
Tabla N° 45.	Cerrillo Parte Baja.....	78
Tabla N° 46.	Santa Bárbara.....	79
Tabla N° 47.	Rumipampa.....	79
Tabla N° 48.	Resumen de tracción por flexión promedio para cada ladrillera.....	80
Densidad y humedad natural		
Tabla N° 49.	Cerrillo Parte Alta.....	81

Tabla N° 50.	Cerrillo Parte Baja.....	81
Tabla N° 51.	Santa Bárbara.....	82
Tabla N° 52.	Rumipampa.....	82
Tabla N° 53.	Resumen de Densidad y humedad natural promedio para cada ladrillera...	82
Succión		
Tabla N° 54.	Cerrillo Parte Alta.....	83
Tabla N° 55.	Cerrillo Parte Baja.....	83
Tabla N° 56.	Santa Bárbara.....	84
Tabla N° 57.	Rumipampa.....	84
Tabla N° 58.	Resumen de Succión promedio para cada ladrillera.....	84
Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación		
Tabla N° 59.	Cerrillo Parte Alta.....	85
Tabla N° 60.	Cerrillo Parte Baja.....	85
Tabla N° 61.	Santa Bárbara.....	86
Tabla N° 62.	Rumipampa.....	86
Tabla N° 63.	Resumen de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación promedio para cada ladrillera.....	87
Resistencia a compresión en pilas		
Tabla N° 64.	Cerrillo Parte Alta según coeficientes de norma E.070.....	88
Tabla N° 65.	Cerrillo Parte Alta según coeficientes de NTP 339.605.....	88
Tabla N° 66.	Cerrillo Parte Baja según coeficientes de norma E.070.....	89
Tabla N° 67.	Cerrillo Parte Baja según coeficientes de NTP 339.605.....	89
Tabla N° 68.	Santa Bárbara según coeficientes de norma E.070.....	89
Tabla N° 69.	Santa Bárbara según coeficientes de NTP 339.605.....	90
Tabla N° 70.	Rumipampa según coeficientes de norma E.070.....	90
Tabla N° 71.	Rumipampa según coeficientes de NTP 339.605.....	90
Tabla N° 72.	Resumen de Resistencia a compresión de pilas en promedio para cada ladrillera.....	91
Resistencia a compresión del mortero		
Tabla N° 73.	Cerrillo Parte Alta.....	92

Tabla N° 74. Cerrillo Parte Baja.....	92
Tabla N° 75. Santa Bárbara.....	93
Tabla N° 76. Rumipampa.....	93
Tabla N° 77. Resumen de Resistencia a compresión del mortero en promedio para cada ladrillera.....	93

Capítulo 7

Tabla N° 78. Clasificación de los ladrillos por variabilidad dimensional.....	94
Tabla N° 79. Clasificación de los ladrillos por Alabeo.....	95
Tabla N° 80. Clasificación de los ladrillos por resistencia a compresión.....	96
Tabla N° 81. Comparación de Resistencia a tracción con la resistencia a compresión....	97
Tabla N° 82. Clasificación de la unidad por densidad según ITINTEC 331.017.....	98
Tabla N° 83. Humedad natural de cada ladrillera.....	99
Tabla N° 84. Comparación de resultados obtenidos del ensayo de succión con la norma E.070.....	99
Tabla N° 85. Comparación de resultados obtenidos del ensayo de Absorción con la norma E.070.....	100
Tabla N° 86. Comparación de resultados obtenidos del ensayo de Absorción máxima con la norma E.070.....	101
Tabla N° 87. Coeficientes de saturación.....	101
Tabla N° 88. Comparación f'_m con la norma E.070.....	102
Tabla N° 89. Comparación de f'_m con la norma E.070.....	103
Tabla N° 90 Resistencia a la compresión del mortero.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura Nº 1.	Sismicidad en el Perú.....	1
Figura Nº 2.	Ubicación de la provincia de Cajamarca.....	2
Figura Nº 3.	Vulnerabilidad de las viviendas de ladrillo confinado.....	3
Figura Nº 4.	Mano de obra y materiales.....	3

Capítulo 2

Figura Nº 5.	Curva normalizada para los diferentes tipos de materiales de las unidades de albañilería.....	12
Figura Nº 6.	Unidades de albañilería.....	13
Figura Nº 7.	Unidades huecas.....	13
Figura Nº 8.	Unidades tubulares o pandereta.....	14
Figura Nº 9.	Variación del espesor de la junta.....	22
Figura Nº 10.	Similitud entre la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y un sismo.....	31
Figura Nº 11.	Ensayo a compresión del mortero.....	36

Capítulo 4

Figura Nº 12.	Ubicación de las ladrilleras en estudio.....	44
Figura Nº 13.	Etapas de la actividad ladrillera.....	45
Figura Nº 14.	Extracción de arcilla con pico y palana.....	46
Figura Nº 15.	Extracción de arcilla con maquinaria.....	46
Figura Nº 16.	Mezcla de los materiales para la elaboración del ladrillo.....	47
Figura Nº 17.	Proceso de moldeo o labranza del ladrillo.....	48
Figura Nº 18.	Etapas de secado del ladrillo.....	50
Figura Nº 19.	Carga de los ladrillos al horno.....	51
Figura Nº 20.	Etapas de cocción de los ladrillos.....	52
Figura Nº 21.	Descarga de los ladrillos.....	53
Figura Nº 22.	Despacho de los ladrillos.....	54
Figura Nº 23.	Medida de la concavidad y convexidad del ladrillo.....	56

RESUMEN

El trabajo de tesis que se presenta a continuación, contiene la evaluación de las características físico – mecánico de las unidades de albañilería artesanales producidas en la provincia de Cajamarca, específicamente de las ladrilleras: Cerrillo Parte Alta, Cerrillo Parte Baja, Santa Bárbara y Rumipampa, teniendo como finalidad determinar sus propiedades mediante ensayos y ser evaluados de acuerdo a las exigencias mínimas de control de calidad que indica la Norma Técnica Peruana E.070 - Albañilería, 2006. Siendo una investigación de tipo descriptiva – experimental ya que se van a describir las propiedades y características de los ladrillos mediante ensayos en laboratorio. Para lograr los objetivos se ha estructurado la investigación comenzando con una breve descripción de la problemática que se tiene en la provincia de Cajamarca, se justifica el trabajo y se presentan las limitaciones de ésta. Se definen términos y se mencionan las normas en relación con el tema de investigación. Luego se describe el procedimiento para cada ensayo que se va a realizar, teniendo en cuenta la norma que los rige. Los ensayos que se realizaron son: variabilidad dimensional ($V\%$), alabeo, resistencia a la compresión (f'_c), resistencia a la tracción (f_{tb}), peso específico (γ), absorción (Abs%), succión (S), resistencia a la compresión en pilas (f'_m) y resistencia a la compresión del mortero (f'_c). y de las propiedades más importantes se concluyó lo siguiente: De las cuatro ladrilleras en estudio se determinó que la ladrillera Rumipampa tiene mayores variaciones en sus dimensiones: (L) largo, (A) ancho y (H) = Altura. ($L= 0.65\%$, $A = 1.44\%$ y $H = 2.37\%$), y la ladrillera Cerrillo Parte Alta es la que menos variación presenta en sus dimensiones ($L=0.48\%$, $A = 0.43\%$ y $H = 1.12\%$) y ninguna de las ladrilleras en estudio alcanza la mínima resistencia a compresión que exige la norma E.070 (2006) que es de 50 kg/cm^2 para un ladrillo Tipo I. Siendo la resistencia más alta 41.50 kg/cm^2 de la ladrillera Rumipampa y la resistencia más baja de 34.71 kg/cm^2 en Cerrillo parte baja.

ABSTRACT

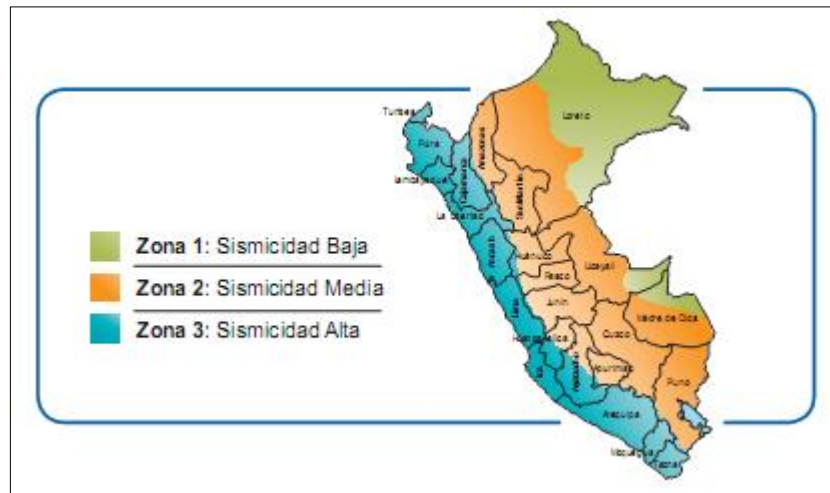
The thesis presented below, contains the evaluation of the physico - mechanical units handcrafted masonry produced in the province of Cajamarca, specifically the brick: I Cerrillo Parte Alta, Cerrillo Parte Baja, Santa Barbara and Rumipampa, taking aim their properties by tests and be evaluated according to the minimum requirements of quality control indicating the Peruvian Technical Standard E.070 - Masonry, 2006. As a descriptive research - experimental and that they will describe the properties and characteristics of the bricks by laboratory tests. To achieve the objectives has been structured research beginning with a brief description of the problem you have in the province of Cajamarca, work is justified and limitations of it are presented. Terms are defined and rules are mentioned in relation to the research topic. Then the procedure for each test to be performed is described, taking into account the standard that governs them. The tests performed are: dimensional variability ($V\%$), warping, compressive strength ($f'c$), tensile strength (ftb), specific gravity (γ), absorption ($Abs\%$), suction (S), compressive strength in batteries ($f'm$) and compressive strength of mortar ($f'c$). and the most important properties of the following was concluded: Of the four brickworks in study determined that the Rumipampa bricked have greater variations in size: (L) long, (A) and width (H) = height. ($L = 0.65\%$, 1.44% and $A = H = 2.37\%$), and bricked Cerrillo Parte Alta is the least variation occurs in its dimensions ($L = 0.48\%$, 0.43% and $A = H = 1.12\%$) and no study of the brick reaches the minimum compressive strength required by E.070 (2006) standard is 50 kg / cm^2 for a brick type I. Being the highest resistance 41.50 kg / cm^2 and resistance bricked Rumipampa lower than 34.71 kg / cm^2 in Cerrillo Parte Baja.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Vivimos en un país con un alto riesgo sísmico, por lo que las edificaciones tienen que ser convenientemente analizadas, diseñadas y construidas adecuadamente, de modo que tengan un buen comportamiento ante todo tipo de sollicitación. Este análisis debe comenzar por tener el conocimiento de cada uno de los materiales que conforman a la estructura, que en este caso tiene que ver con la albañilería por lo tanto es importante determinar las propiedades de las unidades de albañilería en nuestro medio (INDECI, 2011).

Figura N°1: Sismicidad en el Perú



Fuente: <https://www.google.com.pe>, 2015.

La Ciudad de Cajamarca se encuentra ubicada en una zona de sismicidad alta (Zona 3), por lo cual es muy latente el riesgo de ocurrencia de sismos, pudiendo verse afectada la infraestructura e incluso llegar a colapsar. Puede afirmarse que dado el bajo nivel económico de la mayoría de pobladores de Cajamarca, gran parte de sus viviendas se construyen con nula o baja calidad de diseño y materiales, sin una adecuada asesoría técnica y limitándose en la mayoría de casos a contratar la mano de obra y la dirección de personas cuyo conocimiento en técnicas y procedimientos constructivos se basa tan sólo en sus "experiencias" (INDECI, 2011).

Figura N°2: Ubicación de la ciudad de Cajamarca



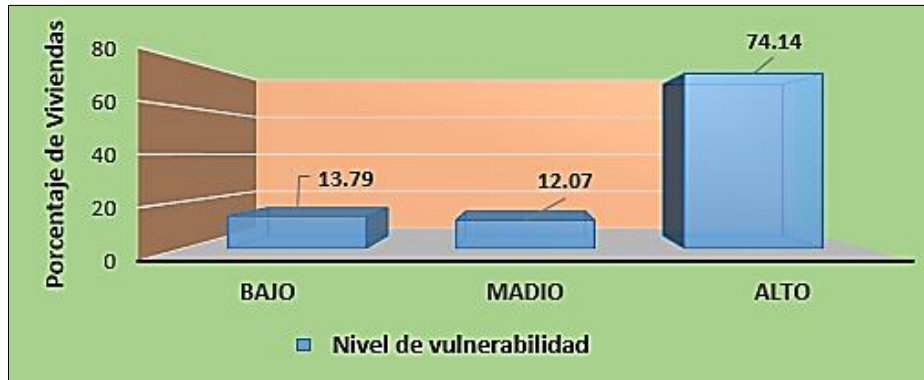
Fuente: <https://www.google.com.pe>, 2015.

Los materiales utilizados en las construcciones, en su mayoría, no cumplen con los requerimientos técnicos básicos para obtener edificaciones adecuadas que brinden seguridad, tal es el caso de los ladrillos artesanales que presentan resquebrajaduras, estando a la vez mal cocidos y con sus dimensiones variables; para lo cual cabe resaltar que la producción de ladrillos es de carácter familiar, donde las unidades productoras además de ser totalmente informales se caracterizan por tener aspectos como: vulnerabilidad a factores climáticos y fenómenos estacionales, así como también escasa predisposición por parte de los productores para generar actividades organizativas y depender de terceros en las fases productivas y comercializadoras (INDECI, 2011).

Debido a que las edificaciones están expuestas, no solamente se presentan las situaciones anteriormente mencionadas; sino, que también existen otros problemas adicionales como el transporte y almacenamiento de las unidades de albañilería, la cual puede generar lesiones más comunes y delicadas, acompañadas de otras, como degradación del ladrillo por agua de lluvia y transporte de partículas contaminantes, que tienden a deteriorar a las unidades de albañilería y por lo tanto deterioran y alteran sus propiedades físicas y mecánicas (INDECI, 2011).

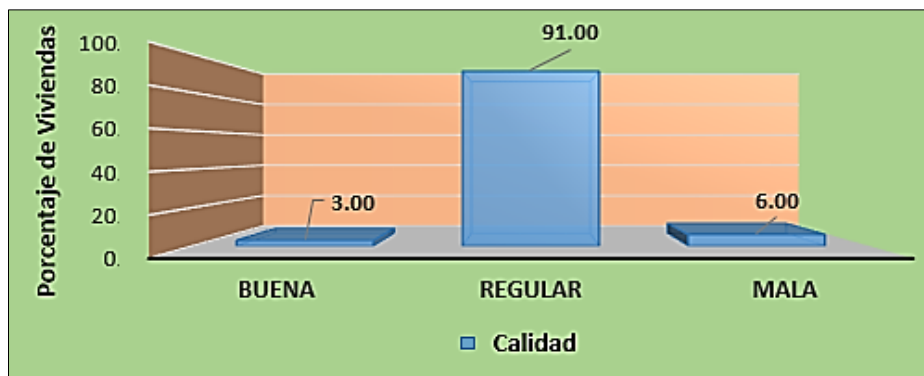
Estudios realizados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) sobre la vulnerabilidad de las infraestructuras en la ciudad de Cajamarca, comprueban lo mencionado anteriormente con respecto a las construcciones con muros de ladrillos de arcilla y la baja calidad en materiales; los cuales se muestran a continuación:

Figura Nº 3: Vulnerabilidad de las viviendas de ladrillo confinado



Fuente: Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú, 2009

Figura Nº 4: Mano de obra y materiales



Fuente: Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú, 2009

Es importante que una edificación, técnicamente cumpla las normas vigentes de tal manera que ofrezcan una buena resistencia en sus dos sentidos principales (densidad de muros), pero esto no ocurre en la mayoría de viviendas observadas en la provincia de Cajamarca. Con respecto a los materiales de construcción, el bajo nivel económico de la mayoría de la población, no les permite adquirir materiales de buena calidad para construir sus viviendas.

1.2. Formulación del problema

¿En qué porcentaje las propiedades físico-mecánicas de las unidades de Albañilería de las ladrilleras: Cerrillo Parte Alta, Cerrillo Parte Baja, Santa Bárbara y Rumipampa de la provincia de Cajamarca no cumplen con las exigencias mínimas establecidas por la Norma E0.70 de Albañilería?

1.3. Justificación

En la región de Cajamarca, al igual que el resto del País, los muros de albañilería confinada son construidos con unidades fabricadas en la propia región, siendo elaboradas por medios tradicionales, de forma artesanal y de manera informal. A pesar de este uso masivo, no se tiene hasta la fecha ninguna información básica sobre las características estructurales de estas unidades de albañilería ni del comportamiento estructural de este sistema constructivo, lo que conlleva en la mayoría de los casos a un diseño aproximado, o la incertidumbre de las soluciones adoptadas.

Siendo el ladrillo un material que por sus características y propiedades físico – mecánicas ofrece gran demanda en la construcción de viviendas en la ciudad de Cajamarca y de todo el país (INEI, 2007), es indispensable profundizar conscientemente en la mejora continua la calidad del producto, por parte del fabricante así como del constructor y del usuario.

La razón de elaborar este proyecto de investigación, se fundamenta en comprobar que los ladrillos no cumplen con las especificaciones mínimas que exige la Norma E.070- Albañilería (2006), para ello se determinarán las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería mediante los ensayos correspondientes, además; debe indicarse que nuestra Norma y las investigaciones actuales están dirigidas principalmente a resolver el problema de la vivienda; en consecuencia, para construcciones distintas a los edificios, las disposiciones de la Norma se aplicarán en la medida que sea posible.

1.4. Limitaciones

Algunas dificultades que se tuvo cuando se realizó este proyecto de investigación fue el de conseguir que en las ladrilleras de Cajamarca nos den información sobre cómo obtienen el ladrillo y que nos faciliten algunos de éstos para llevarlos al laboratorio de la universidad y realizar los ensayos correspondientes y así verificar si están en condiciones de ser utilizados para la construcción de edificaciones. Aun siendo un poco complejo este proceso, es muy importante ya que se tendrá datos de laboratorio en donde se conocerá cuáles ladrilleras de Cajamarca son las que no cumplen con el material necesario para que sea usado en una edificación.

Además el trabajo de investigación se limitó en realizar todos los ensayos de laboratorio necesarios para determinar las propiedades físico-mecánicas; sin embargo, no se realizó el ensayo de consistencia o fluidez del mortero ni el ensayo de esfuerzo a corte en muretes debido a que en el laboratorio no se cuenta con los equipamientos adecuados para dichos ensayos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar las Propiedades Físico - Mecánicas de las Unidades de Albañilería en la Provincia de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Determinar las propiedades físico - mecánicas de la unidad de Albañilería.
2. Determinar la Resistencia a compresión en pilas.
3. Determinar la Resistencia a compresión del mortero.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A nivel nacional se han realizado diversos estudios en relación a las unidades de albañilería; lo cual se presentan a continuación:

Tesis: "Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central de Junín" (2004).

Esta tesis se desarrolló con la finalidad de determinar principalmente las características estructurales de la albañilería y sus componentes, con unidades fabricadas artesanalmente en las diferentes zonas de la región Junín. Primero se registró a los artesanos, se identificó las características principales de la materia prima, la oferta - demanda de las unidades en el mercado, el proceso de producción y se zonificó en cuatro grupos (Palián, Cajas, Saño y Jauja). Después se realizó los ensayos de laboratorio, con materiales de las cuatro zonas.

Finalmente, se describió la tipología de las construcciones que predominan en la central Junín, mostrando en forma visual y descriptiva los procesos constructivos característicos. De todo el desarrollo de la investigación se concluyó lo siguiente: la variabilidad dimensional y el alabeo clasifican según la norma E.070 de albañilería como tipo IV y V, la resistencia a la compresión en promedio fue de f'_c (Resistencia a compresión en las unidades de albañilería) = 39.41 kg/cm^2 , en cuanto a la resistencia a la tracción en ésta tesis no lo considera factible debido a que son valores elevados comparados con la resistencia a la compresión, el peso específico se encuentra entre un rango de 1.4 gr/cm^3 a 1.7 gr/cm^3 , la absorción máxima se encuentra por encima del máximo recomendado por la norma que es de 22%, el valor más bajo de la resistencia a compresión en pilas fue de f'_m (Resistencia a compresión en pilas) = 16.74 kg/cm^2 y la más alta fue de $f'_m = 35.56 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia a corte en muretes más bajo fue de v'_m (Resistencia a corte en muretes) = 3.71 kg/cm^2 y la más alta fue de $v'_m = 6 \text{ kg/cm}^2$, La fluidez del mortero toma un valor promedio de 185.81%, valor alto con respecto al recomendado de 120%, La resistencia a compresión de los cubos del mortero tuvo un valor de f'_c (Resistencia a compresión en mortero) = 86.1 kg/cm^2 .

Tesis: "Mejora de la adherencia mortero – ladrillo de concreto" (2008).

En ésta tesis se buscó mejorar la resistencia a fuerza cortante de la albañilería hecha con ladrillos de concreto. Se utilizaron dos técnicas de construcción distintas a la recomendada por el fabricante, para tratar de incrementar la adherencia entre el mortero y los ladrillos.

Como patrón de comparación se adoptó la técnica de construcción especificada por la empresa fabricante de los ladrillos de concreto y para medir la adherencia mortero-ladrillo se utilizó la prueba de compresión diagonal en muretes de albañilería. Por cada técnica de construcción se ensayaron 4 pilas y 4 muretes. En total se construyeron 12 pilas y 12 muretes. Además se emplearon 20 ladrillos para someterlos a ensayos de compresión, porcentaje de ranuras, variabilidad dimensional, alabeo, succión y absorción. Como resultado de los ensayos se comprobó que ninguna de las 2 técnicas sobresale de manera clara en valores de resistencia a compresión axial, pero en resistencia a compresión diagonal hubo ligeras diferencias, por lo tanto, fue el aspecto económico y la resistencia a compresión diagonal lo que definió a la técnica de construcción más adecuada. Tomando en consideración el ligero aumento de resistencia a compresión diagonal y el bajo incremento en el costo, se concluye que la técnica de construcción más adecuada es la Técnica A y le sigue la Técnica B.

Tesis: "Factores de corrección de la resistencia en compresión de prismas de albañilería por efectos de esbeltez" (2006).

Esta tesis se basa en determinar experimentalmente los coeficientes de corrección de la resistencia a compresión de los prismas de albañilería (f'_m) por efectos de la esbeltez. El rango de esbelteces a estudiar se encuentra especificado por la Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería y está comprendido entre 2 y 5. De este modo se permite que las pilas puedan ser fácilmente construidas en obra, almacenadas y transportadas hacia un laboratorio. Utilizando materiales, mano de obra y técnicas de construcción peruanas se hallaron de manera experimental los coeficientes de corrección de f'_m por esbeltez. Para esto, se ensayaron a compresión axial 72 pilas hechas con ladrillos de arcilla. Estos coeficientes fueron comparados con los coeficientes de las normas peruanas, extranjeras y con los coeficientes hallados de forma analítica usando el método de elementos finitos. Se concluyó,

finalmente, que los valores de los coeficientes de corrección por esbeltez están dados por la norma E.070 son muy parecidos a los coeficientes hallados en esta investigación.

Tesis: "Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica" (2009).

El objetivo del presente proyecto de investigación es controlar la trituración de los ladrillos de arcilla que presentan más del 30% de área de huecos, colocándoles un refuerzo horizontal en una cuantía mínima de 0.001, esperando que este refuerzo atenúe el grosor de las grietas en los muros y así se evite la pérdida de la resistencia y rigidez de los mismos cuando están sujetos a cargas laterales cíclicas. Para la realización del mencionado proyecto, se construyeron dos muros a escala natural, uno de manera tradicional (M1) y otro con el refuerzo horizontal propuesto (M2). Ambos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados, con el objetivo de comparar su comportamiento sísmico. Al término de los ensayos se pudo observar que la adición de refuerzo horizontal atenúa el grosor de las grietas diagonales, retardando la trituración de las unidades de albañilería huecas, lo que evita la pérdida de resistencia y rigidez en los muros en las etapas tempranas del ensayo.

Todas estas tesis presentan en gran parte de su investigación ensayos realizados a las unidades de albañilería en medida de llegar a una solución para los problemas debidamente planteados. El presente proyecto tiene un fin similar al determinar mediante ensayos cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería y además los resultados obtenidos van a ser comparados con lo establecido por la Norma E.070 de Albañilería.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aspectos generales

Las bases teóricas referidas al estudio de las unidades de albañilería se dan en su mayoría en la Norma E.070 – Albañilería en su última versión del año 2006, la cual sigue vigente y no presenta modificaciones hasta la actualidad. Esta norma establece los requisitos mínimos para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas por muros confinados y por muros armados.

Las construcciones de albañilería serán diseñadas por métodos racionales basados en los principios establecidos por la mecánica y la resistencia de materiales. Las dimensiones y los requisitos que se estipulan en la norma tienen el carácter de mínimos y no se exigen en ningún caso del análisis, cálculo y diseño correspondiente, que serán los que deben definir las dimensiones y requisitos a usarse de acuerdo con la función real de los elementos y de la construcción (Norma E.070, 2006).

2.2.2. Unidad de Albañilería

La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería, se elabora de materias primas diversas como la arcilla, concreto y la mezcla de sílice y cal. Se forma mediante el moldeo y compactación; produciéndose a través de fábricas industriales, bajo un control de calidad o en precarias canchas artesanales, sin ningún control de calidad; por lo que no debe extrañar las formas, tipos, dimensiones y pesos sean variables y pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares. Las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo (Bartolomé, 1994).

2.2.2.1. Método de formado de las diferentes materias primas

El formado de las unidades de arcilla se realiza por casi todos los métodos del moldeo: con presión, sin presión y por extrusión (Gallegos y Casabonne, 2005).

En la Tabla N°1 se indican los diferentes tipos de formado y su aplicabilidad a las diferentes materias primas con que se elaboran las unidades de Albañilería.

Tabla N°1: Aplicabilidad de los métodos de formado a las diferentes materias primas para unidades de albañilería.

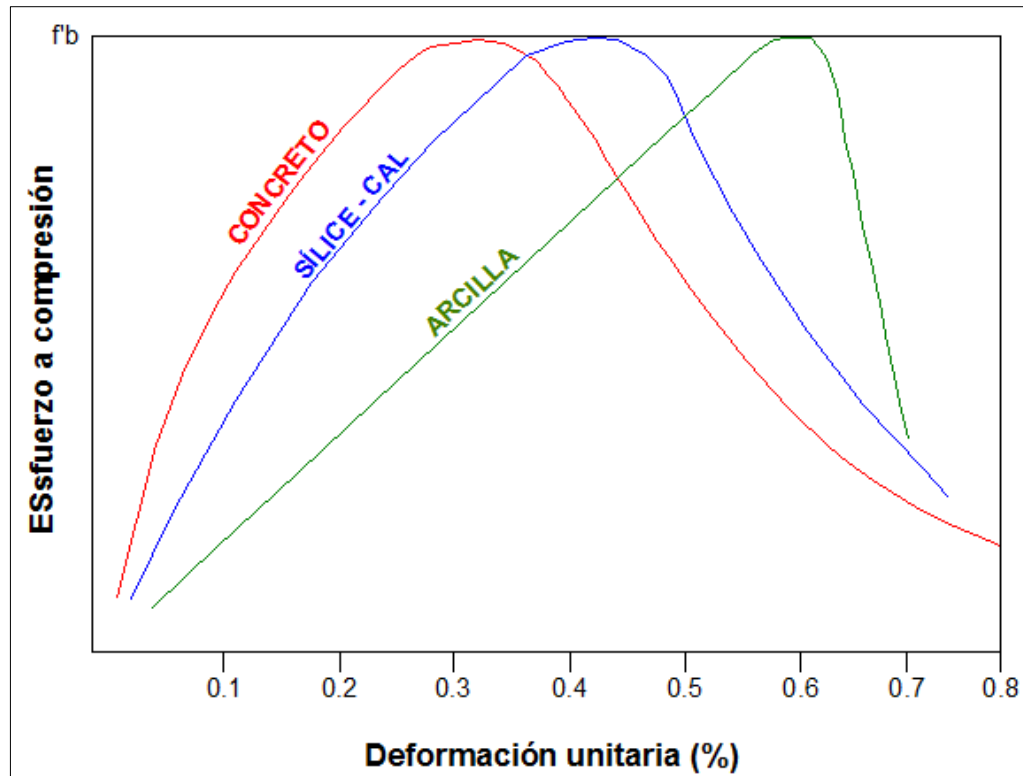
	Corte	Moldeo				Extrusión
		Sin presión	Con presión	Vibración	Vibro-compresión	
Arcilla		•	•			•
Concreto		•		•	•	
Sílice-cal Piedra	•		•			
Suelo - cemento		•	•			

Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

En el caso exclusivo de la arcilla se utiliza también la extrusión. El método de formado define decisivamente la calidad de la unidad de albañilería, la variabilidad de sus propiedades y su textura.

En consecuencia, la gama de productos, su calidad y su variabilidad son prácticamente ilimitadas. El color de las unidades de arcilla va normalmente de amarillo a rojo. La textura de las unidades de arcilla es lisa cuando ha sido moldeada en contacto con moldes metálicos, y rugosa cuando el moldeo se realiza en moldes de madera arenados; es lisa en las caras formadas por el dado en el proceso de extrusión y rugosa en las caras cortadas por el alambre en el proceso de extrusión. En la Figura N° 5, se muestran curvas normalizadas para unidades de arcilla, concreto y sílice – cal.

Figura N° 5: Curva normalizada para los diferentes tipos de materiales de las unidades de albañilería



Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

2.2.3. Tipología.

La tipología es la ciencia que estudia los tipos o clases, la diferencia intuitiva y conceptual de las formas de modelo o de las formas básicas (García, 2002). La tipología de las unidades de albañilería se realiza basándose en el área neta, medida en proporción a la superficie bruta de la cara de asiento, y en las características de los alvéolos. La tipología no tiene que ver ni con el tamaño de las unidades ni con la materia prima con que se elaboran. Es decir, para el mismo tipo puede haber ladrillos o bloques. Se denomina ladrillo aquella unidad cuyo peso y dimensión permite que sea manipulada con una sola mano (Norma E.070, 2006).

2.2.3.1. Unidades sólidas o macizas.

Son las que no tienen huecos o, en todo caso, presentan alveolos o perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento que cubren un área no mayor al 30% del área de la sección bruta en el mismo plano como se muestra en la Figura N° 6.

Figura N° 6: Unidades de albañilería.



Fuente: Elaboración propia, 2015

2.2.3.2. Unidades huecas.

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. En esta categoría clasifican los bloques de concreto vibrado (empleados en la albañilería armada) y también, las unidades con muchas perforaciones como se muestra en la Figura N° 7.

Figura N° 7: Unidades huecas.



Fuente: <http://ladrillosdelsur.pe/productos.php>, 2015.

2.2.3.3. Unidades tubulares o pandereta.

Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento como se muestra en la Figura N° 8.

Figura N° 8: Unidades tubulares o pandereta.



Fuente: <http://ladrillosdelsur.pe/productos.php>, 2015.

2.2.4. Limitaciones de aplicación estructural para los tipos de unidades de albañilería.

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005, mencionan que al margen del valor de la resistencia a la compresión, de las unidades de los diversos tipos, la diferencia del comportamiento radica en la fragilidad de la falla. Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, sin fallas explosivas, mientras que todas las otras presentan fallas explosivas o frágiles, ya sea como unidades individuales o como componentes de un muro.

La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas y perforadas son admitidas con condiciones, y las tubulares no son admitidas para construcciones de muros portantes, particularmente en zonas sísmicas. Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en la falla se modifica, ductilizándose, entonces pueden ser admitidas para la construcción de muros portantes. En la Tabla N° 2, se señala las limitaciones de aplicación estructural de los diferentes tipos de unidades de albañilería.

Tabla N° 2: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.

Tipo	Zona sísmica 2 y 3		Zona sísmica 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a mas	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo el edificio
Sólida Artesanal*	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí celdas totalmente llenas con grout	Sí celdas Parcialmente llenas con grout	Sí celdas Parcialmente llenas con grout
Hueca	No	No	Sí celdas Parcialmente llenas con grout
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

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

Fuente: Norma E.070, 2006

2.2.5. Clasificación para fines estructurales

Según la Norma Peruana Técnica E.070 – Albañilería, las unidades de albañilería para efectos estructurales tendrán las características indicadas en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Clasificación de la unidad de Albañilería para fines estructurales.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (Máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'b$ Mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

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

Fuente: Norma E.070, 2006.

La mayor variación de dimensiones y el mayor alabeo de las unidades, conducen a un mayor grosor de las juntas de mortero (por encima del valor nominal de 10 mm), lo que trae por consecuencia, una reducción de resistencia a compresión y a fuerza cortante en la albañilería. Por ello, para fines de clasificar a la unidad con fines estructurales, debe emplearse los resultados más desfavorables de los ensayos indicados en la Tabla N° 3. Por ejemplo, si por los ensayos de variación dimensional y alabeo de un ladrillo clasifica como clase IV, mientras que por el ensayo de compresión clasifica como clase V, entonces ese ladrillo será clase IV.

La prueba de compresión proporciona una medida cualitativa de las unidades. Una unidad de poca altura tendrá más resistencia que otra de mayor altura, pese a que ambas hayan sido fabricadas en simultáneo. Por ello, INDECOPI, entidad encargada de velar por la calidad de los productos, clasifica a las unidades desde el punto de vista cualitativo (en base a la resistencia a compresión), sin contemplar el producto final que es la albañilería.

En el cálculo de la resistencia a compresión antiguamente (Norma E.070, 1982) se trabajaba con el área neta de la unidad, ello daba cabida a que las fábricas produzcan ladrillos con grandes perforaciones, lo cual elevaba la resistencia a compresión. Actualmente, la resistencia se calcula con el área bruta, con lo cual esas unidades clasifican en un rango inferior. Cabe remarcar que las unidades huecas son muy frágiles.

2.2.6. La desviación estándar

La desviación estándar es una indicación de cuan cerca están agrupados los datos alrededor del promedio, los resultados de los ensayos individuales. Si la desviación estándar es grande los resultados están muy esparcidos; y si la desviación estándar (δ) es muy pequeña indica más uniformidad.

El coeficiente de variación (V) relaciona la desviación estándar con el valor promedio (X), que se expresa en porcentaje.

$$V = \frac{\delta}{X} * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

δ = Desviación estándar.

X = Promedio de la muestra.

La importancia de este modo de presentar la variabilidad de un material de ingeniería aparece al comparar pruebas distintas de un mismo material o pruebas en diferentes materiales. En la Tabla N° 4, se indican los coeficientes de variación típicos en materiales de ingeniería.

Tabla N° 4: Coeficientes de variación representativos de materiales de ingeniería.

Material	Comentario	Coefficiente de variación (%)
Acero estructural Concreto	Se refiere al material industrial medido en ensayos de testigos	1
	a. Obra muy controlada b. Obra sin control	8
Unidades de Albañilería	Resistencia	
	a. Artesanales	25
	b. Industriales	8
	Largo	
	a. Artesanales	5
	b. Industriales	1
	Alto	
	a. Artesanales	8
	b. Industriales	3
Mortero	Adhesión	25
Concreto Líquido	Resistencia a la compresión	8
Albañilería	Medida de ensayos de compresión de prismas	1
	a. Obra muy controlada	8
	b. Obra sin control	25

Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

Según Gallegos y Casabonne también considera en la Tabla N° 5 el coeficiente de variación de la resistencia de unidades para diferentes materiales y métodos de formado en diferentes fabricas peruanas.

Tabla N° 5: Coeficientes de variación de la resistencia en compresión de unidades de Albañilería para diferentes fábricas peruanas.

Tipo de unidad	Clasificación de la fábrica	Coeficientes de variación de la resistencia (%)				
		Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Global
Ladrillo de arcilla moldeado	A	5	9	6	7	7
	B	26	23	24	19	24
	C	58	19	24	11	29
Ladrillo sílico - calcáreo	A	4	4	6	4	5
Ladrillo de arcilla extruido	A	8	11	10	10	10
	B	24	26	19	22	23
Bloque de concreto	A	8	10	10	7	9
	B	20	21	20	15	26
Ladrillo de concreto	B	24	14	11	15	34

A: Industriales

B: Semindustriales

c: Artesanales

Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

En la tabla puede notarse que si bien en las plantas industriales el coeficiente de variación es razonable para un material de ingeniería, en las fábricas Semindustriales (27%) y en las artesanales (29%) dicho coeficiente es excesivo.

El problema de los coeficientes de variación altos es que proceden de un mal uso de la materia prima y conducen a reducidos valores característicos de las características de los componentes.

Al margen del valor de resistencia a la compresión, de las unidades de los diversos tipos, la diferencia del comportamiento radica en la fragilidad de la falla. Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, fallas explosivas; mientras que todas las otras presentan, al ser rotas en compresión, fallas explosivas frágiles. La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas y perforadas son admitidas con condiciones, y las tubulares no

son admitidas para la construcción de muros portantes, particularmente en zona sísmicas. Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en la falla se modifica, ductilizándose, entonces pasan a ser admitidas para la construcción de muros portantes.

2.2.7. Propiedades de las unidades de albañilería.

Las propiedades principales de las unidades de albañilería deben entenderse en su relación con el producto terminado, que es la Albañilería. Según Gallegos y Casabonne (2005) las principales propiedades relacionadas con la resistencia estructural son:

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

Asimismo, las propiedades relacionadas con la durabilidad son:

- ✓ Resistencia a la compresión
- ✓ Absorción
- ✓ Absorción máxima
- ✓ Coeficiente de saturación

De manera general se detallan en la Tabla N° 6 las propiedades de las unidades en función de su materia prima y la calidad de fabricación.

Tabla Nº 6: Propiedades generales de las unidades de Albañilería

Propiedad	Arcilla	
	Calcáreas	No Calcáreas
Resistencia (Mpa)	2 - 6	6 - 100
Estabilidad Volumétrica (%)	Expansión 0,00 - 0,015	Expansión 0,00 - 0,015
Densidad (kg/m ³)	1,400 - 1,700	1,600 - 1,900
Variabilidad dimensional (\pm %)	Grande 5 - 8	Media reducida 3 - 5
Succión (gr)	Muy elevada + 60	Elevada a correcta 5 - 40
Características para asentado	Mala	Buena
Absorción máxima (%)	Alta 15 - 30	Buena a muy reducida 1 - 20
Riesgo de eflorescencia	Grande	Grande
Durabilidad	Mala	Buena a excelente
Resistencia al fuego	Moderada	Muy buena
Expansión térmica ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	5 - 8	4 - 6

Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

Se puede notar que ante cargas de compresión, las unidades de diferentes materias primas presentan comportamientos diferentes. Las unidades de arcilla muestran un comportamiento más frágil que el de concreto y sílice – cal (Gallegos y Casabonne, 2005).

2.2.7.1. Variación dimensional

La variación dimensional es la variación que existe entre las caras opuestas del ladrillo ya sea ancho, largo y altura (Parro, 2015). Las dimensiones en términos generales son características geométricas que ningún ladrillo mantiene perfectamente. Existen pues, diferencias de largo, ancho y alto. El efecto de estas imperfecciones geométricas en la construcción de albañilería se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores a las convenientes.

Según Gallegos H. & Casabonne C. (2005), 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.

El ensayo de variación dimensional determina el espesor de las juntas. Se debe mencionar 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 y al corte de la albañilería disminuye en 15% aproximadamente (San Bartolomé, 1998).

Tabla Nº 7: Variación dimensional según la norma E.070.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (Máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'b$ Mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

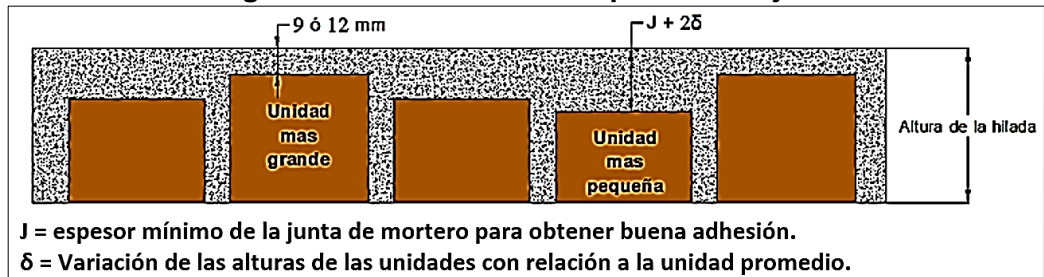
(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

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

Fuente: Norma E.070, 2006.

- Según Ángel San Bartolomé (1995), La prueba de variación dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de albañilería, y que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; asimismo, disminuye la resistencia a corte.

Figura N° 9. Variación del espesor de la junta



Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

Según la Norma E.070 Albañilería el espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será de 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm y se escoge el que sea mayor.

2.2.7.2. Alabeo

El alabeo es la deformación entre las caras opuestas del ladrillo, representadas por espacios vacíos (Cóncavo) o elevaciones sobresalientes (Convexo) (Parrro, 2015). El efecto del alabeo es semejante al de la variación dimensional, es decir produce el aumento o disminución en el espesor de las juntas de mortero, que influye en la resistencia a compresión y a fuerza cortante de la albañilería.

El mayor alabeo (concavidad 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.

Tabla Nº 8: Alabeo según la norma E.070.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (Máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'b$ Mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

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

Fuente: Norma E.070, 2006.

2.2.7.3. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión es la relación directa que existe entre la carga que aplicada a una determinada área de sección (Parro, 2015). La resistencia a la compresión es, por sí sola, la principal propiedad de la unidad de la albañilería (Gallegos, 1978). 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.

Según la norma ITINTEC 331.017, 1978 la resistencia a la compresión de la albañilería (f'_m) es la propiedad más importante. En términos generales, define

no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. Los principales componentes de la resistencia a la compresión de la albañilería son: la resistencia a la compresión del ladrillo (f'_b), la perfección geométrica del ladrillo, la calidad de mortero empleado para el asentado de ladrillo y la calidad de mano de obra empleada.

De todos los componentes anteriormente citados, los pertinentes a una norma de ladrillo son la resistencia a la compresión y la geometría del ladrillo.

Tabla N° 9: Resistencia a compresión en unidades según la norma E.070.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (Máximo en mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'_b Mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) *Bloque usado en la construcción de muros portantes*

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

Fuente: Norma E.070, 2006.

2.2.7.4. Resistencia a tracción por flexión (f_{tb}) o módulo de ruptura.

La resistencia a tracción por flexión es la relación que existe entre una carga aplicada a una determinada distancia de un área de sección (Parro, 215). Al igual que la resistencia a compresión, la resistencia a tracción sólo constituye una medida de la calidad de la unidad. Su evaluación debería realizarse cuando se esté en la incertidumbre de utilizar una unidad tipo IV o tipo V, o cuando se tenga un alto alabeo, que puede conducir a la unidad a una falla de tracción por flexión.

Según la norma ITINTEC 331.017 nos muestra la Tabla N° 10 a manera de referencia se indica a continuación el valor mínimo aproximado obtenible para cada tipo de ladrillo:

Tabla N° 10: Valores mínimos de módulo de ruptura según el tipo de ladrillo.

Tipo	Módulo de Ruptura (daN/cm ²)
I	6
II	7
III	8
IV	9
V	10

Fuente: Norma ITINTEC 331.017, 1978.

Donde:

daN = Decanewton, que equivale a 1.019716212978 kilogram-force.

2.2.7.5. Densidad

La densidad es la relación que existe entre la masa de un objeto con su volumen (Parro, 2015). Varios investigadores han tratado de establecer la relación entre la densidad de la unidad de albañilería y su resistencia a la compresión. Cuando se ha tratado de buscar una ley general, incluyendo en ella materiales diferentes de distintas extracciones, la evidente gran dispersión existente lo ha impedido. Sin embargo para los mismos materiales básicos, o por ejemplo, para arcillas de una misma zona utilizadas en diferentes fábricas es claro que existe una relación directa, con escasa dispersión, entre densidad y resistencia a la compresión. A mayor densidad más resistencia.

La Norma ITINTEC 331.018 Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería sí considera a la densidad como un requisito obligatorio de determinar el tipo de ladrillo lo que no se indica en la norma E.070 de albañilería.

Tabla Nº 11: Valores de densidad según la norma ITINTEC 331.017.

Tipo	Variación dimensional (1) (máx. en %)			Alabeo (2) (máx. en mm)	Resistencia a la compresión (mínima daN/cm ²)	Densidad (mínimo en gr/cm ³)
	Hasta 10 cm	Hasta 15 cm	Más de 15 cm			
I Alternativa mente	± 8	± 6	± 4	10	Sin límite	1.50
					60	Sin límite
II Alternativa mente	± 7	± 6	± 4	8	Sin límite	1.60
					70	1.55
III	± 5	± 4	± 3	6	95	1.60
IV	± 4	± 3	± 2	4	130	1.65
V	± 3	± 2	± 1	2	180	1.70

(1) La variación de la dimensión se aplica para todas y cada una de las dimensiones del ladrillo y está referida a las dimensiones especificadas.

(2) El alabeo se aplica para concavidad o convexidad.

Fuente: Norma ITINTEC 331.017, 1978.

2.2.7.6. Succión

Según Héctor Gallegos, 1978 la succión es la medida de la avidéz del agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es la característica fundamental para definir la relación mortero-unidad en la interfase de contacto y, por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería.

Según la norma ITINTEC 331.017 la succión es la medida de la velocidad de absorción de agua por el ladrillo en un área fijada de 200 cm².

La succión es una propiedad importante en las unidades de arcilla calcinada ya que cuando la succión es muy alta, producirá uniones entre mortero y ladrillo inadecuadas. El mortero, debido a la rápida pérdida del agua – que es absorbida por la unidad -, se deforma y endurece, no logrando un contacto completo con la cara del ladrillo superior. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y muros permeables al agua.

Se considera que para succiones mayores de 20 gramos por minuto en un área de 200 cm² es requisito indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

2.2.7.7. Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación

La **absorción** es la medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería, frecuentemente se toma como medida de la porosidad (ITINTEC, 1978), lo que a su vez se considera indicativa de:

- ✓ La posible filtración a través del ladrillo y
- ✓ La tendencia a la desintegración cuando los ladrillo húmedos son sometidos a congelación y descongelación alternas.

De modo general, un ladrillo poroso no será tan resistente como un ladrillo más denso a la acción de las cargas, o tan tenaz a la acción del tiempo o a cualquier otro fenómeno de intemperismo. Las variaciones de absorción son causas por diferencias en el material utilizado, método del moldeo del ladrillo.

La medida de la **absorción máxima** es la cantidad de agua que puede contener una unidad saturada, es considerada como una medida de su impermeabilidad.

Los valores indicados en la norma como máximos, se aplica a condiciones de uso en que se requiere utilizar el ladrillo en contacto constante con agua o con el terreno sin recubrimiento protector. Según la norma ITINTEC 331.017 la absorción máxima del ladrillo es considerada como una medida de su impermeabilidad. Los valores indicados como máximos en la Norma se aplican a condiciones de uso en que se requiera utilizar el ladrillo en contacto constante con agua o con el terreno, sin recubrimiento protector. Tal es el caso de cisternas, jardineras y albañilería de ladrillo visto en zonas muy lluviosas.

También podemos decir que es una medida normalizada de la cantidad de agua absorbida por un ladrillo sumergido en agua mantenida en ebullición durante 5 horas. Se aconseja que la absorción máxima no sobrepase el 22% (Bartolomé, 1998).

El **coeficiente de saturación** es considerado como una medida de la durabilidad del ladrillo cuando se encuentra sometido a la acción de la intemperie. El coeficiente de saturación es la relación que existe en las pruebas estandarizadas de absorción y absorción máxima (Bartolomé, 1998).

A mayor coeficiente de saturación, mayor será el agua absorbida por el ladrillo e inferior a su resistencia a la intemperie. Así, un ladrillo con coeficiente de saturación menor de 0.8, es poco absorbente y puede ser usado en cualquier clima o condición de intemperismo, y un ladrillo con coeficiente de saturación de 1 es muy absorbente (muy poroso), y por lo tanto poco durables.

2.2.7.8. Eflorescencia

La eflorescencia es el depósito de sales solubles, comúnmente sulfato de calcio (CaSO_4) generalmente de color blanco que se forma en la superficie de la albañilería al evaporarse la humedad (Gallegos y Casabonne, 2005).

La causa para la formación de estas manchas blanquecinas es la presencia de sales en los ladrillos o en la arena con la que se elabora el mortero; estas sales reaccionan con el agua utilizada en la preparación de la mezcla provocando el fenómeno durante el secado del muro.

Por lo tanto, si las unidades de albañilería se saturan para asentarlas, la eflorescencia aumenta. Por este motivo, las unidades de albañilería deben protegerse de la humedad y durante el secado ser humedecidas sólo estrictamente lo necesario para obtener una adecuada adhesión con el mortero (Gallegos y Casabonne, 2005)..

Cuando existe una cantidad considerable de sal en los componentes del muro y es trasladada a la superficie del muro por agua permanente en el suelo (humedad natural), y riego de jardines o por fugas de agua de las tuberías, puede causar la desintegración del muro. Es por ello que para limpiar la eflorescencia se debe utilizar métodos secos, por ejemplo puede ser retirada limpiando la superficie de albañilería con un cepillo de cerda gruesa, si se las cepilla con agua solo se conseguirá trasladar las sales a otro lado del muro.

El peligro de la eflorescencia es mayor en las unidades de albañilería de arcilla, sobre todo en aquellas de baja calidad, de reducida resistencia y elevado grado de succión (que es el caso de las unidades artesanales). En unidades industriales no se puede descartar que aparezca eflorescencia, pero se asume que esa posibilidad será muy baja. En cualquier caso, la norma E-070 del RNE

señala que "la unidad de albañilería no tendrá manchas o betas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo".

Según el Ing. Flavio Abanto Castillo (2007), para prevenir el fenómeno de la eflorescencia destructiva debemos realizar lo siguiente:

No utilizar las unidades de albañilería que, en muestras escogidas al azar y sumergidas en agua hasta la cuarta parte de su altura en un recipiente con agua, muestres polvo blanco en su superficie que originalmente seca en el plazo de una semana.

- ✓ No utilizar agua o arenas de mar para elaborar el mortero.
- ✓ Incluir cal hidratada como ingrediente de los morteros de asentado y enlucido.
- ✓ Proteger las unidades y los muros de contacto con el agua en todas las etapas de la construcción.
- ✓ Evitar el contacto permanente con el suelo o con la humedad.

2.2.8. Propiedades de la albañilería simple

2.2.8.1. Resistencia a la compresión (Ensayos en pilas)

Una pila es la probeta formada por la superposición de al menos tres piezas (tabique o bloque) y con el número suficiente de hiladas para que la relación altura-espesor se encuentre entre 2 y 5 (Parro, 2015). El espécimen para determinar la resistencia a compresión de la albañilería está prácticamente estandarizado en el ámbito mundial, y consiste en una unidad asentada sobre otra. Lo prismas se construyen si son para investigación, de acuerdo con los objetivos del programa de ensayos, y si son para control de obra se emplean la unidad, el mortero, el espesor de junta técnica, la mano de obra, etc. Que se van a utilizar en obra.

Según Ángel San Bartolomé (1994) las pilas fallan principalmente por tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical); este se debe a que el mortero trata de expandirse lateralmente en mayor proporción que la unidad y puesto que debe existir compatibilidad de deformación entre ambos elementos, el mortero trabajara a compresión y la unidad a tracción lateral. Otro tipo de

fallas es por aplastamiento (de la unidad o del mortero), producida cuando se emplean materiales de baja resistencia. Los muros y muretes fallan por fuerza cortante en forma escalonada a través de las juntas, o cortando las unidades (tracción diagonal); lo último se produce cuando se desarrolla una buena adherencia entre el mortero y la unidad.

Según la norma E.070 indica que de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la Tabla N° 12, correspondiente a pilas y muretes construidos con mortero 1:4, cuando la unidad es de arcilla.

Tabla N° 12: Resistencia a compresión en pilas según la norma E.070 de Albañilería.

Resistencias Características de la Albañilería Mpa (kg/cm ²)				
Materia prima	Denominación	UNIDAD f'_b	PILAS f'_m	MURETES v'_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice - Cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y mecano (*)	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
		6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

(*) Utilizados para la construcción de Muros Armado.

Fuente: Norma E.070, 2006

El valor f'_m han sido obtenido de acuerdo a los **coeficientes de corrección** por esbeltez del prisma que aparecen en las Tablas N° 13 y 14.

Tabla N° 13: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según la norma E.070.

Esbeltez	2.00	2.50	3.00	4.00	4.50	5.00
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Fuente: Norma E.070, 2006

Tabla N° 14: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según NTP 339.605

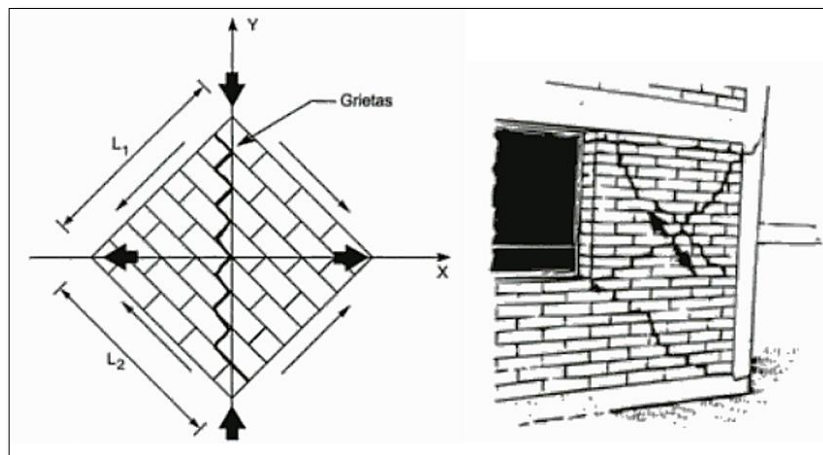
Esbeltez	1.30	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00
Factor	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

Fuente: NTP 339.605, 2013.

2.2.8.2. Resistencia al corte (Ensayos en muretes)

El ensayo más utilizado para determinar la resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonal es, probablemente, el de corte o compresión diagonal. Seguramente por la similitud de la forma de falla del ensayo con la forma de falla de ciertos muros de edificaciones ante acciones sísmicas, muchos investigadores, lo han considerado como un ensayo representativo ideal, cuando en realidad las condiciones de borde son, por lo general, totalmente diferentes entre ensayo y realidad. Estrictamente hablando, el valor de este ensayo es ser un método simple y práctico de evaluar las resistencias al corte y a la tracción diagonal en diferentes albañilerías (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura N° 10: Similitud entre la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y un sismo.



Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005

2.2.9. Mortero

El mortero cumple la función de asumir las inevitables irregularidades de las unidades y, sobre todo, la de unir las o adherirlas así como también sellar las juntas contra la penetración de aire y de la humedad con relativa estabilidad en el proceso constructivo, proveyendo rigidez en la hilada para permitir el asentado de

la siguiente hilada, y para formar, en última instancia, un conjunto durable, impermeable y con alguna resistencia a la tracción. (Gallegos y Casabonne, 2005)

2.2.9.1. Componentes del mortero

El mortero está compuesto por cemento portland tipo I, cal hidratada normalizada, arena gruesa y agua. El cemento y la cal funcionan como aglomerantes, mientras que la arena es un agregado inerte (Abanto, 2007).

La función del cemento es proporcionar resistencia a la mezcla, en tanto que la cal le proporciona trabajabilidad y retentividad (evita que el agua se evapore rápidamente). La función de la arena es proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla, permitiendo el asentado de varias hiladas en una jornada de trabajo; adicionalmente la arena atenúa la contracción por secado, por lo que se recomienda: no usar arena fina y lavar la arena gruesa si ella tuviese mucho polvo. La función del agua es proporcionar trabajabilidad a la mezcla, así como hidratar al cemento. En tanto la utilización de cal hidratada en el mortero, tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Permite unir en forma óptima las unidades de albañilería y el mortero.
- ✓ Le confiere monolitismo e impermeabilidad al muro.
- ✓ Le confiere durabilidad.

2.2.9.2. Proporciones para el mortero

La cantidad adecuada de agua de amasado de las mezclas para asentado de ladrillos es aquella que asegura la efectiva adherencia entre el mortero y las unidades de albañilería, y a la vez, confiera al mortero la necesaria trabajabilidad (Abanto, 2007).

Para lograr una adhesión óptima es necesario que:

- ✓ La arena este limpia, libre de materia orgánica y que cumpla la siguiente granulometría.

Tabla N° 15: Granulometría del agregado

Malla	% que pasa
N°4	100
N°8	95-100
N°100	25 mínimo
N°200	10 mínimo

Fuente: Norma E.070, 2006.

- ✓ La unidad de albañilería debe ser humedecida antes de ser asentada; para evitar una succión excesiva.
- ✓ El agua debe ser bebible, limpia, libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

Las proporciones en volumen a utilizar, según la Norma Técnica de edificación E.070 de albañilería son:

- ✓ Cuando se emplea solo cemento Portland Tipo I.

Tabla N°16: Proporción cemento y arena

Tipo	Cemento	Arena
P1	1	4
P2	1	5
NP	1	6

Fuente: Abanto, 2013.

Cuando se emplea cemento portland Tipo I + Cal hidratada normalizada.

Tabla N°17: Proporción cemento, cal y arena

Tipo	Cemento	Cal	Arena
P1 - C	1	1	4
P2 - C	1	1	5
NP - C	1	1	6

Fuente: Abanto, 2013.

a. Cal hidratada en el mortero

La cal en el mortero es un componente indispensable para lograr pegar las unidades, cualquiera sea su materia prima (arcilla, silico – calcáreas o concreto). Aumenta la

plasticidad y retentividad de los morteros, permitiendo que la mezcla sea trabajable y esparcida sobre toda la superficie de las unidades de albañilería y así desarrollen fuerza de adhesión. (Abanto, 2013)

Permite que la adhesión sea uniforme con las unidades inferiores y superiores de las juntas de mortero y así logran impermeabilizarlo. Esta imprescindible acción no puede ser satisfecha por el cemento. Los morteros elaborados sin cal, son ásperos y poco retentivos y no permiten su esparcimiento sobre toda la superficie de contacto. Los morteros sin cal obtienen adhesión con los ladrillos inferiores sobre los cuales se esparcen y rápidamente ceden su contenido de agua impidiendo su adhesión con las unidades que se colocan encima (Abanto, 2013).

La cal de los morteros, se combina con el tiempo al reaccionar químicamente con el anhídrido carbónico del ambiente, conformando cristales de carbonato de calcio. Este proceso de endurecimiento por carbonatación, que se desarrolla del exterior al interior, provee durabilidad a la adhesión, al sellar la junta de los morteros y lograr así realmente "soldar" los ladrillos. La cal hidratada debe tener garantía de calidad, para asegurar que cumpla su objetivo (Abanto, 2013).

2.2.9.3. Adherencia unidad – mortero

Una buena adherencia entre la unidad y el mortero se logra cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas. Para favorecer este proceso es necesario que el mortero se extienda sobre toda la superficie (vertical y horizontal) de la unidad por asentar; además, según Ángel San Bartolomé una forma práctica de comprobar la extensión del mortero es separar las dos unidades después de un minuto de haber sido pegadas, con la finalidad de observar si el mortero ha cubierto toda la superficie de la unidad (Bartolomé, 1994).

2.2.9.4. Propiedades y ensayos del mortero

a) Consistencia o fluidez

Se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder discurrir (fluir) o de ser trabajable con el badilejo. Para determinar la fluidez en obra, se puede utilizar la prueba de revenimiento (slump o asentamiento) en el cono

de Abrams, recomendándose que ésta sea de 6 pulgadas (Gallegos y Casabonne, 2005).

b) Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia o fluidez, se realiza en el aparato de flujo, que es una mesa plana construida de tal manera que pueda dejarse caer desde una altura de 12mm por medio de una leva rotatoria.

Este ensayo ha sido criticado por muchos investigadores porque ofrece resultados dispersos, sin embargo; en la actualidad se sigue utilizando cuando se trata de ensayos a los morteros. Se define como la consistencia o fluidez al porcentaje de incremento en el diámetro de un tronco de cono de 10 cm de diámetro en su base y 5 cm de altura después de que la mesa de flujo se ha dejado caer veinticinco veces en quince segundos. Esto es, si el diámetro de la masa de mortero es 20 cm después del ensayo, la consistencia o fluidez del mortero es 100% (Gallegos y Casabonne, 2005).

c) Retentividad

La retentividad se define como la capacidad que tiene la mezcla para mantener su consistencia, o de continuar siendo trabajable después de un lapso de tiempo.

Para determinar la retentividad se realiza una prueba en la mesa de sacudidas, y como muestra se puede utilizar la misma que se empleó en la fluidez; solo que en este caso se extrae el agua en una cámara de vacíos durante un minuto. Se recomienda que la relación entre el diámetro final y el diámetro obtenido en la prueba de fluidez sea mayor que 0.8 (Gallegos y Casabonne, 2005).

d) Ensayo de retentividad

Para el ensayo de retentividad se utiliza el mismo aparato de flujo que se utilizó en el ensayo de consistencia. Se mide la consistencia en dos oportunidades. Una inicial que corresponde al ensayo de consistencia, luego se coloca el mismo mortero en un aparato de vacío, calibrado a un vacío de 51mm de mercurio por un minuto, lo que tiene el efecto de retirarle una parte del agua. Inmediatamente después se repite la medición de consistencia. La

relación entre la consistencia final y la inicial se llama retentividad (Gallegos y Casabonne, 2005).

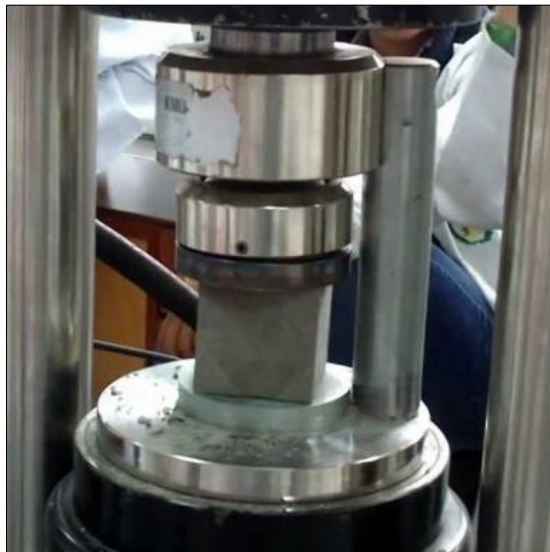
e) Resistencia a la compresión

Esta propiedad es muy importante cuando el mortero se usa en albañilería ya que se exige tenga una resistencia a la compresión mayor o igual al de la unidad, a fin de evitar su falla por aplastamiento y tratar de dar homogeneidad a la albañilería (Gallegos y Casabonne, 2005).

f) Ensayo de Compresión del Mortero

Este ensayo determina la resistencia a la compresión del mortero de asentado de la albañilería. Se preparan testigos cúbicos de 5cm de lado, o cilindros prismáticos de 5cm de diámetro y altura de 5cm. Después de 28 días de ser preparado el testigo, se ensaya en una máquina de compresión, determinando su resistencia (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura Nº 11: Ensayo a compresión del mortero.



Fuente: <http://google.com/>, 2015.

g) Ensayo de adhesión

La adhesión no es una propiedad absoluta del mortero, sino que se mide con relación a una determinada unidad de albañilería. El ensayo puede hacer por tracción directa o por flexión, siendo más usual el ensayo a tracción directa. El resultado del ensayo no mide necesariamente la adhesión, entendida como el producto de su valor unitario y la extensión del

área de contacto, sino que es más bien una medida del valor unitario de la adhesión. Es por ello que los resultado de este ensayo deben ser analizados en un contexto integral y no juzgados como primordiales para clasificar a la unidad de albañilería, que para efectos de esta tesis no se estaría evaluando (Gallegos y Casabonne, 2005).

2.3. Definición de términos básicos

Según la NTP 331.017. Ladrillos de arcilla.

- ✓ **Arcilla:** Agregado mineral terroso pétreo que consiste esencialmente de silicatos de aluminio hidratados, plástica cuando está suficientemente pulverizada y humedecida, rígida cuando está seca, y vítrea cuando se quema a una temperatura suficientemente alta (del orden de 1000°C).
- ✓ **Ladrillo de arcilla:** Unidad de Albañilería fabricada con arcilla, esquisto arcilloso, o sustancias terrosas similares de ocurrencia natural. Conformada mediante moldeo, prensado o extracción y sometida a un tratamiento con calor a temperaturas elevadas (quema). El tratamiento calorífico debe desarrollar suficientes enlaces de origen térmico entre las partículas constituyentes para proveer los requisitos de resistencia y durabilidad de la NTP.
- ✓ **Ladrillo sólido (macizo):** Ladrillo que tiene una sección neta, en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, equivalente al 75% o más de la sección bruta medida en el mismo plano.
- ✓ **Resistencia a la compresión:** Es la relación entre la carga de rotura a compresión de un ladrillo y su sección bruta.

Según la NTP 339.605. Y la NTP 339.621 Unidades de Albañilería.

- ✓ **Muestra:** Una muestra consiste de por lo menos tres prismas construidos del mismo material y ensayados a la misma edad.
- ✓ **Unidades de Albañilería:** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o sílice-cal. Puede ser sólida, hueca o tubular.
- ✓ **Mortero:** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.
- ✓ **Cemento para mortero:** El cemento hidráulico cuyo uso principal es en albañilería, consiste en una mezcla de cemento Portland o Cemento Portland adicionado y materiales plastificantes (tales como cal aérea o cal hidráulica),

unida con otros materiales que puedas dar a la mezcla otras propiedades tales como tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad.

Según la Norma Técnica Peruana E.070 – Albañilería

- ✓ **Albañilería o Mampostería:** Material estructural compuesto por 'unidades de albañilería' asentadas con mortero o por 'unidades de albañilería' apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido.
- ✓ **Albañilería Confinada:** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel.
- ✓ **Albañilería Armada:** Albañilería reforzada interiormente con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente e integrada mediante concreto líquido, de tal manera que los diferentes componentes actúen conjuntamente para resistir los esfuerzos. A los muros de Albañilería Armada también se les denomina Muros Armados.
- ✓ **Albañilería No Reforzada:** Albañilería sin refuerzo (Albañilería simple) o con refuerzo que no cumple con los requisitos mínimos de la Norma E.070.
- ✓ **Albañilería Reforzada o Albañilería Estructural:** Albañilería armada o confinada, cuyo refuerzo cumple con las exigencias de la Norma E.070.
- ✓ **Construcciones de Albañilería:** Edificaciones cuya estructura está constituida predominantemente por muros portantes de albañilería.
- ✓ **Muro Portante:** Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical.
- ✓ **Muro No Portante:** Muro diseñado y construido en forma tal que solo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son por ejemplo, los parapetos y los cercos.

Según la Norma ITINTEC 331.017, 1978

- ✓ **Ladrillo Artesanal:** Es el ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano o con maquinaria elemental que en ciertos casos extruye, a baja presión, la pasta

de arcilla. El procedimiento de moldaje exige que se use arena o agua para evitar que la arcilla se adhiera a los moldes dando un acabado característico al ladrillo. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.

- ✓ **Ladrillo industrial:** Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad.
- ✓ **Ladrillo tipo I:** Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- ✓ **Ladrillo tipo II:** Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.
- ✓ **Ladrillo tipo III:** Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- ✓ **Ladrillo tipo IV:** Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- ✓ **Ladrillo tipo V:** Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

2.4. Marco Normativo

- Norma Técnica Peruana **E.070** – Albañilería
- Norma Técnica Peruana **331.017 (2003)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos.
- Norma Técnica Peruana **339.613 (2005)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.
- Norma Técnica Peruana **339.605 (2013)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.
- Norma Técnica Peruana **334.051 (2013)** – CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- Norma Técnica Peruana **339.621 (2004)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.
- Norma Técnica Peruana **339.607 (2013)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería.

- Norma Técnica Peruana **339.610 (2013)** – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada para morteros.
- Norma Técnica Peruana **334.147 (2004)** – CEMENTOS. Especificaciones normalizadas del cemento para mortero
- Norma Técnica Peruana **334.097 (2006)** – CEMENTOS. Arena normalizada. Requisitos.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

“Las Propiedades Físico-Mecánicas de las Unidades de Albañilería de la provincia de Cajamarca no cumplen en más de un 10% con los valores mínimos de resistencia a compresión, variación dimensional, alabeo, absorción y succión estipulados por la Norma E.070 de Albañilería”

3.2. Operacionalización de variables

INDEPENDIENTE

Resistencia a compresión, variación dimensional, alabeo, absorción, succión,
Resistencia a compresión en pilas y resistencia a compresión del concreto.

DEPENDIENTE:

Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.

3.2.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<u>TITULO</u>	<u>VARIABLES</u>	<u>DEFINICION DE VARIBBLES</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>TECNICAS / INSTRUMENTOS</u>
<u>DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA.</u>	Alabeo.	El alabeo es la deformación entre las caras opuestas del ladrillo, representadas por espacios vacíos (Cónvavo) o elevaciones sobresalientes (Convexo).	mm	formatos, encuestas, fichas, fotografías, videos,etc.
	Variación dimensional.	La variación dimensional es la variación que existe entre las caras opuestas del ladrillo ya sea ancho, largo y altura.	mm	
	Resistencia a compresión.	La resistencia a compresión es la relación directa que existe entre la carga que aplicada a una determinada área de sección.	kg/cm ²	
	Resistencia a tracción	La resistencia a tracción por flexión es la relación que existe entre una carga aplicada a una determinada distancia de un área de sección.	kg/cm ²	
	Peso específico.	El peso específico es la relación que existe entre la masa de un objeto con su volumen.	gr/cm ³	
	Succión	Según la norma ITINTEC 331.017 la succión es la medida de la velocidad de absorción de agua por el ladrillo en un área fijada de 200 cm ² .	gr/200cm ² -min	
	Absorción.	La absorción es la medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería, frecuentemente se toma como medida de la porosidad.	%	
	Resistencia a compresión en pilas	Una pila es la probeta formada por la superposición de al menos tres piezas (tabique o bloque) y con el número suficiente de hiladas para que la relación altura-espesor se encuentre entre 2 y 5.	kg/cm ²	
Resistencia a compresión en concreto.	La resistencia a compresión es la relación directa que existe entre la carga que aplicada a una determinada área de sección.	kg/cm ²		

3.2.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TITULO	VARIABLES	DEFINICION DE VARIBBLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	TECNICAS / INSTRUMENTOS
<u>DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA.</u>	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de las Unidades Albañilería.	Conjunto de características y acciones que se relacionan entre sí, que conducen al logro de objetivos previamente establecidos.	Propiedades físicas	Alabeo.	mm	formatos, encuestas, fichas, fotografías, videos,etc.
				Variación dimensional.	mm	
			Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión.	kg/cm ²	
				Resistencia a tracción	kg/cm ²	
				Resistencia a compresión en pilas	kg/cm ²	
Resistencia a compresión en concreto.	kg/cm ²					

Fuente: Elaboración propia, 2015.

CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

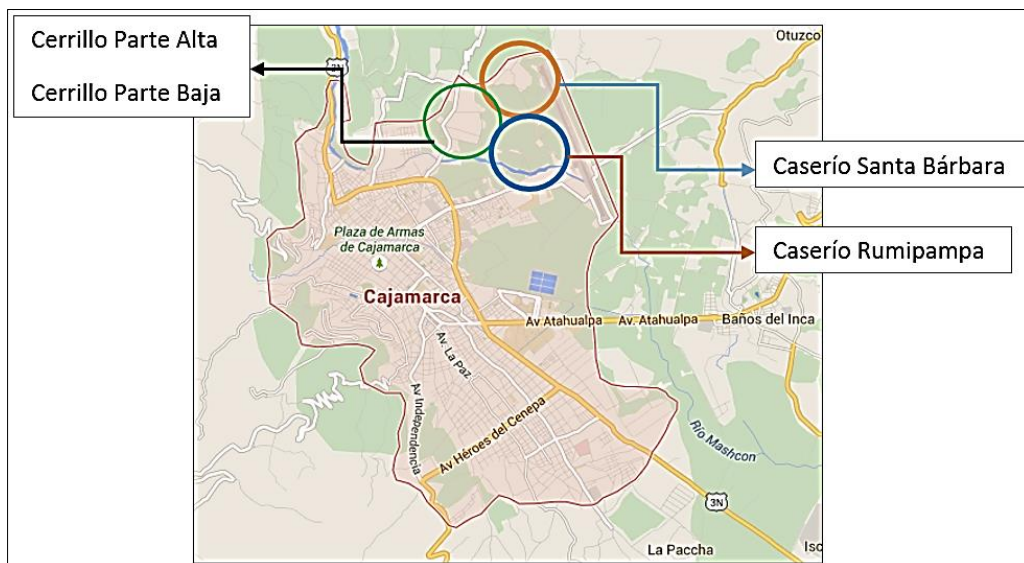
4.1. Ubicación de las ladrilleras

La actividad de fabricación está ampliamente distribuida a nivel nacional. Las empresas grandes por lo general están adecuadamente formalizadas ante los gobiernos locales y ante la autoridad sectorial que es el ministerio de la producción. Poseen en su mayoría tecnologías de proceso mejor desarrolladas en cuanto a tipos de horno y combustibles que utilizan, lo cual les permiten obtener productos de mejor calidad y con mejores posibilidades de controlar o prevenir los impactos ambientales de su actividad industrial (INEI, 2007)

Por el contrario, la gran mayoría de empresas ladrilleras de micro y pequeño tamaño distribuidas a nivel nacional presentan un alto grado de informalidad y utilizan técnicas artesanales para la fabricación de sus productos. La planta de fabricación está representada básicamente por el horno y un espacio de terreno como patio de labranza.

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en las ladrilleras Cerrillo Parte Alta, Cerrillo Parte Baja, Santa Bárbara y Rumipampa, las mismas que están ubicadas al Noreste del distrito de Cajamarca con Coordenadas geográficas (grados, minutos, segundos) Latitud: 7° 10' 3.01" S - Longitud: 78° 29' 42.5" W.

Figura N° 12: Ubicación de las ladrilleras en estudio.



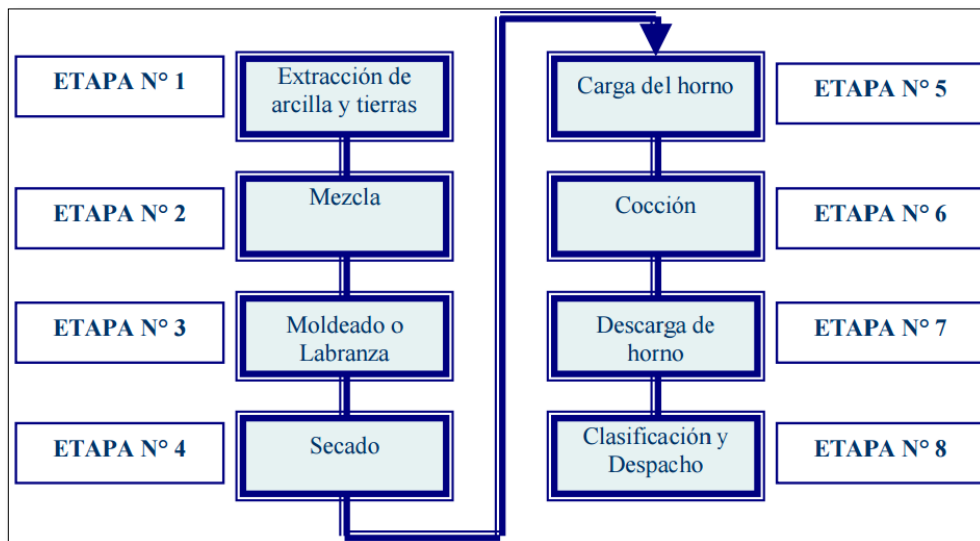
Fuente: www.google.com.pe/maps/place/Cajamarca, 2015.

4.2. Descripción de la actividad ladrillera.

4.2.1. Etapas de la actividad

Según el programa denominado Guía de buenas prácticas ambientales para ladrilleras artesanales (2009) el diagrama de flujo general para la actividad ladrillera se muestra en la Figura N° 13.

Figura N° 13: Etapas de la actividad ladrillera.



Fuente: Guía de buenas prácticas ambientales para ladrilleras artesanales, 2009

4.2.1.1. Etapa 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 o 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. Por el contrario las ladrilleras artesanales que no pagan un denuncia, extraen el material con palas y picos.

Figura N° 14 Extracción de arcilla con pico y pala.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura N° 15: Extracción de arcilla con maquinaria.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2.1.2. Etapa 2: Mezcla

Después de extraer el material se lo transporta mediante maquinaria o con carretillas hasta unas fosas de mezclado en donde se realiza una mezcla de arcilla y arena humedecidas amasando con las manos y pies; incluso con la ayuda de una yunta de toros, con la finalidad de que desaparezca las grandes masas de arcilla. Esta masa se deja reposar hasta el día siguiente para que los terrones más pequeños se deshagan, la mezcla se vuelve consistente hasta y adquiere la textura requerida para el moldeo o labranza. Las impurezas de la arcilla y tierra como raíces de planta, restos de arbustos y piedras son separadas manualmente. Algunas pocas veces se hacen pasar la arena por un

tamiz para eliminar las 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.

Figura N° 16: Mezcla de los materiales para la elaboración del ladrillo.



Amasado de materiales con toros.



Masa en reposo cubierta con plástico para protegerlo de la lluvia.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2.1.3. Etapa 3: Moldeo o labranza

El material mezclado se moldea para darle la forma de ladrillo requerido, en este caso el ladrillo comercialmente llamado ladrillo King Kong. Se colocan las masas en unas gabereras que están conformadas por cuatro moldes de madera; estos son amasados manualmente en el molde y luego se enrasan con un palo de madera para que se tenga una apariencia uniforme. Se prosigue en dejar la masa ya moldeada en el almacén para luego continuar con el mismo proceso, sin antes pasar las gabereras por agua para que estén limpias y así colocar la otra tanda; además, también se le esparce un poco de arena a las gabereras para que la mezcla no se pegue al momento de sacarla del molde.

Figura Nº 17: Proceso de moldeo o labranza del ladrillo.



Lavado de gaberás



Poner arena a las gaberás para que no se pegue la mezcla



Amasado de la mezcla en el molde.



Enrase de la mezcla con un plato de madera



Desmolde de la mezcla.



Ladrillos recién desmoldados.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Del trabajo de campo realizado, se determinó que cada artesano que elabora el ladrillo no tiene el mismo rendimiento; es decir, habían algunos que por la experiencia en la labor podían realizar una tarea de hasta un millar al día solo una persona comenzando desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde; en cambio habían otros que tenían la tarea de 500 ladrillos al día y lo hacían entre dos personas.

Esta información es básicamente para tener un conocimiento general del rendimiento que puede ser variado dependiendo en este caso de factores como la experiencia en la labor. Cabe recalcar además, que es un trabajo muy duro y cansado; lo cual también repercute en el rendimiento.

4.2.1.4. Etapa 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.

Los ladrillos se secan aprovechando la acción natural del sol y el viento. Cuando llueven 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.

El secado se realiza hasta que el ladrillo crudo pierde aproximadamente un 13% de humedad y queda listo para ser cargado al horno. El periodo de secado depende del clima; es decir que si llueve se deja secar aproximadamente un mes de lo contrario se dejan 20 días; lo cual varía entre cinco y siete días en promedio.

A partir del tercer o cuarto día se levantan las caras para un secado parejo, raspando la cara que estaba en contacto con el suelo a fin de desprender la tierra o polvo. En la etapa final del secado se van colocando los ladrillos de canto uno encima del otro formando pequeñas torres de un ladrillo por lado y de aproximadamente 1m a 1.20m de altura.

Figura Nº 18: Etapa de secado del ladrillo.



Ladrillos almacenados en un terreno espacioso y plano, cubierto con calaminas para protección de la lluvia.



Ladrillos levantados para un secado parejo.



Se va colocando los ladrillos uno encima de otro como torres.



Etapa final del secado.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2.1.5. Etapa 5: Carga al 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 el cual se arman briquetas en tres o más capas dependiendo de la forma y tamaño de la

bóveda. Debajo de esta parrilla está los sopletes que atraviesan todo el horno y por donde pasa el fuego que es lanzado con un motor.

A la altura de la parte superior de la bóveda formada por los ladrillos en el interior del horno e inmediatamente después 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. Las briquetas utilizadas generalmente son de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro por 14 cm de alto con un agujero en el medio para favorecer su encendido.

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°), descansando sobre su lado más largo hasta llenar toda la altura del horno

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 del fuego y calor durante la cocción.

La capacidad del horno es de 20 a 25 millares y se van cargando en aproximadamente 10 horas con 5 personas; 4 para alcanzar los ladrillos y uno para el armado.

Figura N° 19: Carga de los ladrillos al horno.



**Horno con dos canaletas o
Sopletes**



**Briquetas de carbon puestas encima
de la parrilla armada sobre los
Sopletes.**

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2.1.6. Etapa 6: Cocción

La cocción de los ladrillos se realiza en el horno y es elaborado por un trabajador que se encarga especialmente a quemar los ladrillos. El proceso de quemado de los ladrillos parte de unas canaletas o sopletes que están a nivel del suelo y que atraviesan todo el horno como se explicó en la etapa 5; por estas canaletas pasa el fuego que es encendido con la ayuda de un motor que funciona a base de combustible o aceite quemado. El objetivo de hacer fuego es encender las briquetas que se encuentran encima de las parrillas hasta que estén al rojo vivo, lo cual toma un tiempo de 4 o 5 horas.

El proceso de cocción se inicia cuando se han prendido totalmente las briquetas en la segunda capa de ladrillos colocados en el horno, pues entonces ya se ha prendido el cisco de carbón junto a esas briquetas; en ese momento se empieza a sellar el horno tapando primero las mirillas y ventanas opuestas a la dirección del viento y finalmente sellados 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 ese momento solo se trata de mantener el fuego encendido hasta que llegue a la parte superior del horno.

Figura N° 20: Etapa de cocción de los ladrillos.



Fuente: www.google.com.pe/search/images, 2015.

4.2.1.7. Etapa 7: Descarga de horno

Una vez que el fuego ha llegado al extremo superior y se haya consumido todo el carbón, se abren poco a poco los ventiladores del horno para dejar enfriar los ladrillos lo cual puede durar entre cuatro y siete días. El enfriamiento es de

abajo hacia arriba por efecto de las mismas corrientes de aire que han contribuido a la cocción.

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 periodo de enfriamiento normal.

La descarga dura menos tiempo que cuando se cargó al horno; es decir, aproximadamente en 8 o 9 horas.

Figura Nº 21: Descarga de los ladrillos.



**Descarga de los ladrillos del horno a camión
Para ser comercializado.**

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.2.1.8. Etapa 8: Clasificación y despacho

Los ladrillos se descargan y se apilan en los alrededores del horno clasificándolos según el resultado de cocción:

- ✓ Bien cocidos: Coloración rojiza intensa y sonido metálico a la percusión, son duros y presentan el grano fino y compactado 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 menos por aquellos que no están bien cocidos.

Es necesario indicar que esta clasificación solo se da en ladrilleras industriales ya que en las ladrilleras artesanales no realizan ensayos de calidad.

En general un ladrillo para ser bueno debe reunir cualidades de:

- ✓ Homogeneidad en toda la masa (ausencia de fisuras y defectos)
- ✓ Dureza para resistir cargas pesadas (resistencia a la flexión y a la compresión)
- ✓ Formas regulares para que los muros construidos sean de espesor uniforme (aristas vivas y ángulos rectos)
- ✓ Coloración homogénea, salvo que se tenga interés en emplearlos como detalle arquitectónico de coloración.

Figura Nº 22: Despacho de los ladrillos.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.3. Procedimiento de los ensayos

4.3.1. Ensayos a la unidad de albañilería

4.3.1.1. Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613 – 2005)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- ✓ Se removió el polvo y algunas partículas con la ayuda de una brocha para eliminar un poco las manchas blanquecinas que presentaban las unidades.
- ✓ Se procedió a secar las unidades con la ayuda de un horno por no menos de 24 horas a una temperatura de 110°C.
- ✓ Se midió las dimensiones de la unidad tanto para largo, ancho y su altura. Luego se promediaron los resultados. (ver anexo 1 – variación dimensional)
- ✓ Luego se calculó la desviación estándar (δ) para indicar cuan cerca están agrupados los datos alrededor del promedio. (ver capítulo VI – resultados)
- ✓ Se calculó la variabilidad dimensional en porcentaje dividiendo la desviación estándar sobre el promedio para cada dimensión.

$$V(\%) = \frac{\delta}{Promedio} \dots \dots \dots Ecuación N^{\circ}2$$

Donde:

V (%) = Variabilidad dimensional en porcentaje

δ = Desviación estándar

4.3.1.2. Ensayo de alabeo (NTP 399.613 – 2005)

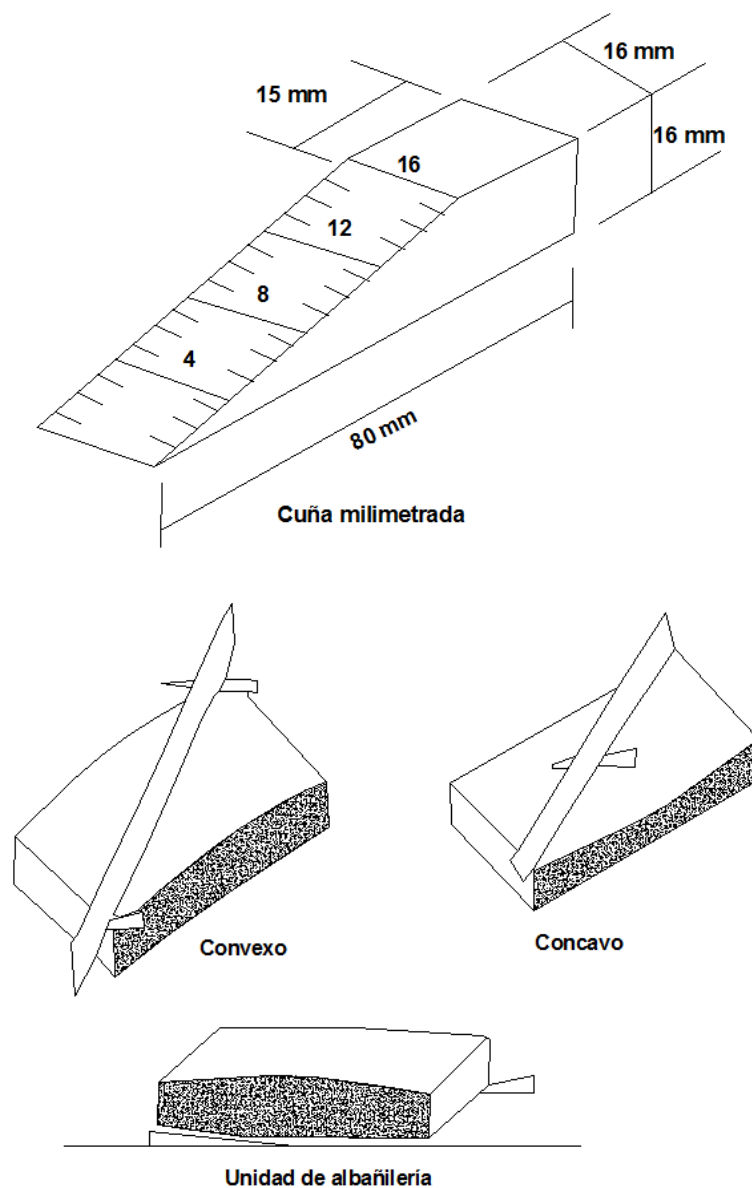
Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- ✓ La prueba se realiza colocando la superficie de asiento de la unidad sobre una mesa plana, para luego introducir una cuña metálica graduada al milímetro en la zona más alabeada, también debe colocarse una regla que

conecte los extremos diagonalmente opuestos a la unidad para después introducir la cuña en el punto de mayor deflexión. El resultado promedio se expresa en milímetros. (ver anexo 1 – alabeo).

- ✓ La concavidad y la convexidad se medirán con una regla y una cuña de acero o madera graduada como lo estipula la norma NTP 399.613 (2005), como se observa en la Figura N° 23. Para este ensayo se analizó una muestra representativa de 10 unidades de cada ladrillera.

Figura N° 23: Medida de la concavidad y convexidad del ladrillo.



Fuente: NTP 399.613, 2005

4.3.1.4. Ensayo a tracción por flexión (NTP 399.613 – 2005)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- Para este ensayo se requiere apoyar a la unidad sobre dos barras de acero sólidos de 12.7 mm de diámetro (3/8"). Estas barras estarán separadas 18 cm en la cara inferior del ladrillo.
- El ensayo consiste en aplicar una carga vertical concentrada; es decir en el centro de la unidad con la misma máquina para en ensayo a compresión.
- La resistencia a tracción por flexión se calcula con la siguiente fórmula:

$$ftb(kg/cm^2) = \frac{3PL}{2 * b * h^2} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 4$$

Donde:

- P = Es la carga máxima aplicada al espécimen.
- L = longitud entre apoyos
- b = Ancho de la unidad
- h = Altura de la unidad

4.3.1.5. Ensayo para determinar la densidad (NTP 399.613 – 2005)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- Para determinar el peso específico se aplica la Ecuación N° 5:

$$\gamma = \frac{P_{SECO}}{V} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 5$$

Donde:

- V = P1 – P2
- P1 = Peso del espécimen saturado (3hrs en ebullición), en gramos
- P2 = Peso del espécimen saturado sumergido por 24 horas, en gramos.

P_{SECO} = Peso del espécimen seco, en gramos.

V = Volumen en centímetros cúbicos.

γ = Peso específico en gramos por centímetro.

- Para determinar la humedad natural se aplica la Ecuación N° 6:

$$H(\%) = \frac{P_0 - P_1}{P_1} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación N°6}$$

Donde:

$V = P_1 - P_2$

P_0 = Peso en estado natural, en gramos

P_1 = Peso del espécimen seco, en gramos, después de haber sido secado en el horno.

Los datos tomados de peso natural, peso seco, peso sumergido 24 horas y 3 horas en ebullición se encuentran en el Anexo 1 – Peso específico y humedad natural.

4.3.1.6. Ensayo para determinar la succión (NTP 399.613 – 2005)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 unidades enteras y secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- Las unidades fueron puestas en el horno a una temperatura de 110° C por no menos de 24 horas para que estén completamente secas.
- Se toma datos del peso de las unidades secas. Luego se elige un recipiente totalmente plano donde se colocará dos soportes para el ladrillo, que pueden ser dos varillas de acero de 6 mm de diámetro aproximadamente.
- Se adiciona agua al recipiente con una precisión de 3mm sobre los apoyos, luego se coloca encima de los apoyos a la unidad en estudio por un periodo de 1 minuto, después de eso tiempo se retira a la unidad, se seca la cara en contacto con el agua e inmediatamente se registra el datos de su peso en la balanza.
- Esta succión se evalúa sobre un área de contacto de 200 cm² y es expresada por la Ecuación N° 7:

$$\text{Succión}(\text{gr}/200 \text{ cm}^2/\text{min}) = \frac{200(P_m - P_s)}{A} \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 7$$

Donde:

A = Área de contacto

Ps = Peso seco de la muestra, en gramos

Pm = Peso de la muestra húmeda, en gramos, después de la succión.

Los datos tomados de peso seco y peso de la muestra húmeda se encuentran en el Anexo 1 – Succión.

4.3.1.7. Ensayo para determinar la absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación. (NTP 399.613 – 2005)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 10 medias unidades secas por cada ladrillera en estudio. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de cálculo:

- Las unidades fueron puestas en el horno a una temperatura de 110° C por no menos de 24 horas para que estén completamente secas.
- Se pesaron las unidades después de haberse enfriado en aproximadamente 3 horas. Luego se sumergió totalmente a las unidades en un recipiente de agua por 24 horas, luego de este tiempo se vuelven a pesar, obteniendo de esta manera la absorción de la unidad. La absorción se muestra en porcentaje como se indica en la Ecuación N° 8:

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{P_{sat.} - P_s}{P_s} \times 100 \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 8$$

Donde:

Psat. = Peso saturado 24 horas en agua fría en kg.

Ps = Peso seco en kg.

- Para la absorción máxima se utilizaron los mismos ladrillos sumergidos en agua fría. Estas unidades se sumergen en agua que tenga una temperatura entre 15 a 30°C y luego calentar el agua hasta llegar al punto de ebullición para después dejarlos hervir por un periodo de 5 horas.

- Luego de ese tiempo se deja enfriar el agua antes de sacar los ladrillos, para luego ser pesados en la balanza nuevamente registrándose su peso sumergido por 5 horas en ebullición como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción máxima}(\%) = \frac{P_{\text{ebull}} - P_s}{P_s} \times 100 \quad \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 9$$

Donde:

P_{ebull} = Peso saturado 5 horas en agua caliente en kg.

P_s = Peso seco en kg.

- Para hallar el coeficiente de saturación se relaciona los pesos anteriormente hallados con la siguiente fórmula:

$$\text{coeficiente de saturación} = \frac{P_{\text{sat.}} - P_s}{P_{\text{ebull.}} - P_s} \quad \dots \dots \text{Ecuación N}^\circ 10$$

Los datos tomados de peso natural, peso seco, peso sumergido 24 horas y 5 horas en ebullición se encuentran en el Anexo 1 – Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación.

4.3.2. Ensayos a la albañilería simple

4.3.2.1. Ensayo en pilas (NTP 399.605 – 2013)

Este ensayo se efectuó para una muestra representativa de 5 pilas para cada ladrillera y que cada pila está compuesta por 5 unidades de albañilería enteras y secas. Para lo cual se tuvo el siguiente procedimiento de construcción:

- Primero se seleccionaron las unidades de albañilería que serían utilizadas en este ensayo, luego se regaban con la ayuda de una manguera media hora antes de empezar a construirlas.
- Se preparó la mezcla de mortero con cemento Tipo I, bolsa roja; arena de río de la cantera de Baños del Inca, cal hidratada y agua potable. Se mezcló los materiales hasta tener una buena consistencia y trabajabilidad. Luego se procedió a asentar

las unidades con un espesor de junta de 1.5 cm y así sucesivamente hasta completar las cinco unidades. Para esta investigación se trabajó con una relación de altura – esbeltez de aproximadamente 3.60, lo cual se encuentra dentro de los límites permitidos que indica la norma E.070 que son entre 1,3 – 5,0. (ver anexo 1)

- Después de haber construido las pilas, éstas no serán removidas de su lugar hasta su respectivo ensayo. Pero pasadas las 24 horas de haber sido construidas se procese al curado de las pilas con agua por un periodo de siete días.
- Desde el día en que fueron construidos las pilas se cuenta 28 días para ser ensayadas a compresión, lo cual se define como la relación entre la carga axial y el área de la sección transversal. (ver capítulo VI – resultados).

$$f'm = C * \frac{P_{m\acute{a}x}}{\hat{A}rea} \quad \dots \dots Ecuaci\acute{o}n N^{\circ}11$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima sobre la pila.

C = Es un coeficiente de esbeltez que toma valores de acuerdo a la norma E.070 y según el libro de Gallegos y Casabonne lo cual se presentan en el capítulo 2, en las Tablas N° 13 y 14 respectivamente.

4.3.3. Ensayos al mortero

4.3.3.1. Ensayo a compresión (NTP 334.051 – 2013)

El ensayo a compresión se hace rompiendo a los veintiocho días en una máquina de compresión, testigos cúbicos de 5cm de lado. La resistencia a compresión del mortero al igual que la adhesión, deviene una característica que no le es propia, sino que está relacionada con la unidad de albañilería con la que será utilizado. Por lo tanto y de manera general, la resistencia a la compresión tiene poca importancia práctica, se elabora con fines de investigación.

El resultado del ensayo de obtiene dividiendo la carga máxima entre el área de la sección promedio, se llama resultado de la prueba al promedio al promedio de los resultados de los tres ensayos.

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\hat{A}rea} \quad \dots \dots Ecuaci\acute{o}n N^{\circ}12$$

Donde:

f'_c = Resistencia a compresión en pilas.

$P_{máx}$ = Carga máxima sobre la pila.

Curado

Según investigaciones realizadas por San Bartolomé, se ha demostrado que la adhesividad mortero – unidad de albañilería mejora en cuanto a su resistencia a compresión cuando el mortero es curado con agua, en relación a los especímenes que no son curado

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

Es una investigación de tipo descriptiva ya que se va a describir las propiedades y características de los ladrillos elaborados en diferentes ladrilleras de la provincia de Cajamarca. Puesto que se realizaran ensayos en laboratorio a los ladrillos la investigación también es de tipo experimental.

Es una investigación de tipo correlacional ya que el comportamiento de la variable dependiente de la investigación va a variar de acuerdo a la variable independiente; es decir, de acuerdo a las características y propiedades del ladrillo van a depender la calidad de la construcción en las edificaciones de la provincia de Cajamarca. Esta investigación es de conocimiento para todas las personas, empresas, etc. que estén relacionadas en el ámbito de la construcción.

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Unidad de estudio.

Unidad de ladrillo.

5.2.2. Población.

La población está conformada por todas las ladrilleras que fabrican ladrillos de arcilla artesanalmente denominado como King Kong en la provincia de Cajamarca.

5.2.3. Muestra.

La muestra seleccionada para la presente tesis es el ladrillo, que es elaborado en cuatro ladrilleras de la provincia de Cajamarca y que se han seleccionado de acuerdo a lo criterios de presencia en el mercado, técnica empleada en la fabricación, ubicación y materia prima; las cuales son las siguientes:

- Cerrillo parte Baja
- Cerrillo parte Alta
- Santa Bárbara y
- Rumipampa

Tabla N° 18: Número de especímenes para las unidades de albañilería.

ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES		# de ladrilleras	Total de especímenes
	Unidad de albañilería (NTP 399.613 – 2005)			
Variación dimensional y alabeo	Min 10	(10)	4	40
Resistencia a la compresión	Min 5	(8)		36
Tracción por flexión	Min 5	(10)		40
Densidad	Min 5	(10)		40
Succión	Min 5	(10)		40
Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación	Min 5	(10)		40
TOTAL	35	58	TOTAL	236

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 19: Número de especímenes para la Albañilería simple.

Albañilería simple	# DE ESPECÍMENES	# DE MUESTRAS	Total de especímenes	# de ladrilleras	Total de especímenes
Ensayo de Pilas (resistencia a la compresión) NTP 399.605 – 2013	Min 3 (5)	Min 3 (5)	25	4	100
Ensayo de muretes (resistencia al corte) NTP 399.621 - 2004	Aprox. 12	Min 3 (5)	60	4	240
		TOTAL	85	TOTAL	340

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 20: Número de especímenes en total

ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	# de ladrilleras	Total de especímenes
Unidad de albañilería	60	4	240
Albañilería simple	85		340
TOTAL	145	TOTAL	580

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Además según la NTP 399.6013 – 2005 en el acápite 5.2 indica que para la determinación del Módulo de ruptura, Resistencia a compresión y la absorción, se ensayaran como mínimo 10 unidades representativas de un lote de 1 000 000 o menos; para lotes mayores se tomarán 5 especímenes adicionales, por cada 500 00 unidades. Se podrá tomar mayor número de unidades a criterio del comprador.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Técnica del muestreo

La técnica del muestreo se realizó por conveniencia, debido a que las ladrilleras ubicadas en el sector Cerrillo producen entre 10 y 14 millares cada tres o cuatro meses aproximadamente.

5.3.2. Procedimientos

Para realizar los ensayos en laboratorio se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana vigente para cada ensayo, obtenida de la institución INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual).

- Norma Técnica Peruana E.070 – Albañilería (2006).
- Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos.
- Norma Técnica Peruana 339.613 (2005) – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.
- Norma Técnica Peruana 339.605 (2013) – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.
- Norma Técnica Peruana 334.051 (2013) – CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- Norma Técnica Peruana 339.607 (2013) – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería.
- Norma Técnica Peruana 339.610 (2013) – UNIDADES DEL ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada para morteros.
- Norma Técnica Peruana 334.147 (2004) – CEMENTOS. Especificaciones normalizadas del cemento para mortero

5.3.3. Instrumentos de recolección de datos

Para obtener esta información se procedió a realizar entrevistas abiertas, fichas técnicas, ensayos de laboratorio de cada espécimen de ladrillo (físicos y mecánicos), pilas (propiedades mecánicas), Mortero (propiedades mecánicas).

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Ensayo de Variación dimensional

6.1.1. Resultados

Los resultados de variación dimensional fueron calculados según la Ecuación N° 2. Procedimiento de ensayo para variación dimensional en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 21: Longitud - Cerrillo Parte Alta.

Muestra	Largo (mm)					Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	V (%)
CPA - VD - 1	212.0	213.0	210.0	210.0	211.25	1.50	0.71
CPA - VD - 2	213.0	213.0	210.0	210.0	211.50	1.73	0.82
CPA - VD - 3	213.0	214.0	211.0	211.0	212.25	1.50	0.71
CPA - VD - 4	213.0	214.0	210.0	210.0	211.75	2.06	0.97
CPA - VD - 5	211.0	212.0	213.0	211.0	211.75	0.96	0.45
CPA - VD - 6	210.0	211.0	212.0	210.0	210.75	0.96	0.45
CPA - VD - 7	215.0	215.0	211.0	212.0	213.25	2.06	0.97
CPA - VD - 8	215.0	215.0	210.0	208.0	212.00	3.56	1.68
CPA - VD - 9	214.0	216.0	213.0	214.0	214.25	1.26	0.59
CPA - VD - 10	213.0	214.0	210.0	212.0	212.25	1.71	0.80
					Promedio	212.10	
					δ =	1.01	
					V (%) =	0.48	

Tabla Nº 22: Ancho - Cerrillo Parte Alta.

Muestra	Ancho (mm)					Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	V (%)
CPA - VD - 1	121.0	121.0	123.0	120.0	121.25	1.26	1.04
CPA - VD - 2	123.0	120.0	121.0	119.5	120.88	1.55	1.28
CPA - VD - 3	120.0	120.0	123.0	120.0	120.75	1.50	1.24
CPA - VD - 4	123.0	121.0	121.0	120.0	121.25	1.26	1.04
CPA - VD - 5	120.5	120.0	121.5	120.5	120.63	0.63	0.52
CPA - VD - 6	123.0	122.0	120.0	120.0	121.25	1.50	1.24
CPA - VD - 7	122.0	121.5	120.5	119.0	120.75	1.32	1.10
CPA - VD - 8	125.0	122.0	121.0	121.5	122.38	1.80	1.47
CPA - VD - 9	122.0	121.5	120.0	120.0	120.88	1.03	0.85
CPA - VD - 10	120.0	123.0	121.0	122.0	121.50	1.29	1.06
Promedio					121.15		
					$\delta =$	0.52	
					V (%) =	0.43	

Tabla Nº 23: Altura - Cerrillo Parte Alta.

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad	
	H1	H2	H3	H4	H Prom	δ	V (%)
CPA - VD - 1	75.0	80.0	77.0	78.0	77.50	2.08	2.69
CPA - VD - 2	77.0	75.5	75.0	79.0	76.63	1.80	2.35
CPA - VD - 3	80.0	81.0	77.0	78.0	79.00	1.83	2.31
CPA - VD - 4	77.0	77.0	77.0	80.0	77.75	1.50	1.93
CPA - VD - 5	77.0	75.0	76.0	80.0	77.00	2.16	2.81
CPA - VD - 6	77.0	75.0	78.0	78.0	77.00	1.41	1.84
CPA - VD - 7	76.0	80.0	77.0	80.0	78.25	2.06	2.63
CPA - VD - 8	75.0	76.5	77.0	76.0	76.13	0.85	1.12
CPA - VD - 9	75.0	80.0	75.0	76.0	76.50	2.38	3.11
CPA - VD - 10	76.0	77.0	78.0	78.0	77.25	0.96	1.24
Promedio					77.30		
					$\delta =$	0.86	
					V (%) =	1.12	

Tabla N° 24: Largo - Cerrillo Parte Baja.

Muestra	Largo (mm)					Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	V (%)
CPB - VD - 1	214.0	214.0	212.0	213.0	213.25	0.96	0.45
CPB - VD - 2	216.0	216.0	215.0	213.0	215.00	1.41	0.66
CPB - VD - 3	215.0	218.0	212.0	212.0	214.25	2.87	1.34
CPB - VD - 4	219.0	220.0	210.0	211.0	215.00	5.23	2.43
CPB - VD - 5	215.0	217.0	217.0	217.0	216.50	1.00	0.46
CPB - VD - 6	215.0	216.0	218.0	215.0	216.00	1.41	0.65
CPB - VD - 7	217.0	218.0	218.0	219.0	218.00	0.82	0.37
CPB - VD - 8	217.0	217.0	217.0	217.0	217.00	0.00	0.00
CPB - VD - 9	216.0	219.0	213.0	213.0	215.25	2.87	1.33
CPB - VD - 10	215.0	216.0	211.0	213.0	213.75	2.22	1.04
Promedio					215.40		
					$\delta =$	1.49	
					V (%) =	0.69	

Tabla N° 25: Ancho - Cerrillo Parte Baja.

Muestra	Ancho (mm)					Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	V (%)
CPB - VD - 1	122.0	124.0	125.0	123.0	123.50	1.29	1.05
CPB - VD - 2	126.0	125.0	126.0	122.0	124.75	1.89	1.52
CPB - VD - 3	127.0	127.0	126.0	125.0	126.25	0.96	0.76
CPB - VD - 4	127.0	125.0	127.0	125.0	126.00	1.15	0.92
CPB - VD - 5	125.0	125.0	126.0	127.0	125.75	0.96	0.76
CPB - VD - 6	126.0	125.0	127.0	127.0	126.25	0.96	0.76
CPB - VD - 7	128.0	124.0	128.0	126.0	126.50	1.91	1.51
CPB - VD - 8	128.0	126.0	127.0	124.0	126.25	1.71	1.35
CPB - VD - 9	126.0	125.0	126.0	127.0	126.00	0.82	0.65
CPB - VD - 10	126.0	125.0	123.0	121.0	123.75	2.22	1.79
Promedio					125.50		
					$\delta =$	1.10	
					V (%) =	0.88	

Tabla N° 26: Altura- Cerrillo Parte Baja.

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad	
	H1	H2	H3	H4	H Prom	δ	V (%)
CPB - VD - 1	73.0	73.0	73.0	75.0	73.50	1.00	1.36
CPB - VD - 2	75.0	73.0	74.0	72.0	73.50	1.29	1.76
CPB - VD - 3	73.0	73.0	72.0	72.0	72.50	0.58	0.80
CPB - VD - 4	73.0	71.0	72.0	75.0	72.75	1.71	2.35
CPB - VD - 5	72.0	75.0	75.0	74.0	74.00	1.41	1.91
CPB - VD - 6	74.0	75.0	75.0	75.0	74.75	0.50	0.67
CPB - VD - 7	76.0	77.0	76.0	73.0	75.50	1.73	2.29
CPB - VD - 8	73.0	77.0	74.0	72.0	74.00	2.16	2.92
CPB - VD - 9	74.0	72.0	72.0	74.0	73.00	1.15	1.58
CPB - VD - 10	74.0	74.0	75.0	75.0	74.50	0.58	0.77
Promedio					73.80		
					$\delta =$	0.94	
					V (%) =	1.28	

Tabla N° 27: Largo - Santa Bárbara.

Muestra	Largo (mm)					Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	V (%)
SB - VD - 1	209.0	211.0	210.0	210.0	210.00	0.82	0.39
SB - VD - 2	209.0	210.0	209.0	207.0	208.75	1.26	0.60
SB - VD - 3	210.0	211.0	209.0	210.0	210.00	0.82	0.39
SB - VD - 4	210.0	210.0	208.0	208.0	209.00	1.15	0.55
SB - VD - 5	206.0	207.0	210.0	206.0	207.25	1.89	0.91
SB - VD - 6	211.0	210.0	208.0	208.0	209.25	1.50	0.72
SB - VD - 7	210.0	210.0	205.0	207.0	208.00	2.45	1.18
SB - VD - 8	206.0	205.0	210.0	210.0	207.75	2.63	1.27
SB - VD - 9	210.0	209.0	206.0	206.0	207.75	2.06	0.99
SB - VD - 10	210.0	210.0	206.0	208.0	208.50	1.91	0.92
Promedio					208.63		
					$\delta =$	0.95	
					V (%) =	0.46	

Tabla N° 28: Ancho - Santa Bárbara.

Muestra	Ancho (mm)					Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	V (%)
SB - VD - 1	122.0	120.0	123.0	120.0	121.25	1.50	1.24
SB - VD - 2	124.0	121.5	123.0	120.0	122.13	1.75	1.43
SB - VD - 3	123.0	121.0	122.0	122.0	122.00	0.82	0.67
SB - VD - 4	121.0	120.0	121.0	120.0	120.50	0.58	0.48
SB - VD - 5	126.0	120.0	120.0	120.0	121.50	3.00	2.47
SB - VD - 6	123.0	121.0	122.0	120.0	121.50	1.29	1.06
SB - VD - 7	120.0	123.0	120.0	120.0	120.75	1.50	1.24
SB - VD - 8	120.0	120.0	120.0	120.0	120.00	0.00	0.00
SB - VD - 9	121.0	118.0	120.0	118.0	119.25	1.50	1.26
SB - VD - 10	120.0	120.0	121.0	117.0	119.50	1.73	1.45
Promedio					120.84		
					$\delta =$	1.01	
					V (%) =	0.84	

Tabla N° 29: Altura - Santa Bárbara.

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad	
	H1	H2	H3	H4	H Prom	δ	V (%)
SB - VD - 1	75.0	75.0	75.0	77.0	75.50	1.00	1.32
SB - VD - 2	74.0	75.0	80.0	77.0	76.50	2.65	3.46
SB - VD - 3	71.0	72.0	76.0	77.0	74.00	2.94	3.98
SB - VD - 4	75.0	78.0	76.0	75.0	76.00	1.41	1.86
SB - VD - 5	73.0	75.0	73.0	73.0	73.50	1.00	1.36
SB - VD - 6	76.0	75.0	75.0	75.0	75.25	0.50	0.66
SB - VD - 7	77.0	76.0	75.0	77.0	76.25	0.96	1.26
SB - VD - 8	76.0	75.0	75.0	77.0	75.75	0.96	1.26
SB - VD - 9	75.0	74.0	75.0	73.0	74.25	0.96	1.29
SB - VD - 10	75.0	75.0	78.0	76.0	76.00	1.41	1.86
Promedio					75.30		
					$\delta =$	1.03	
					V (%) =	1.37	

Tabla N° 30: Largo - Rumipampa.

Muestra	Largo (mm)					Resultados por cada unidad	
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	V (%)
RMP - VD - 1	210.0	210.0	206.0	206.0	208.00	2.31	1.11
RMP - VD - 2	210.0	210.0	215.0	212.0	211.75	2.36	1.12
RMP - VD - 3	211.0	210.0	212.0	211.0	211.00	0.82	0.39
RMP - VD - 4	210.0	211.0	210.0	208.0	209.75	1.26	0.60
RMP - VD - 5	211.0	214.0	208.0	209.0	210.50	2.65	1.26
RMP - VD - 6	215.0	215.0	209.0	210.0	212.25	3.20	1.51
RMP - VD - 7	209.0	210.0	213.0	214.0	211.50	2.38	1.13
RMP - VD - 8	209.0	210.0	208.0	209.0	209.00	0.82	0.39
RMP - VD - 9	213.0	214.0	209.0	210.0	211.50	2.38	1.13
RMP - VD - 10	214.0	214.0	214.0	205.0	211.75	4.50	2.13
Promedio					210.70		
					$\delta =$	1.38	
					V (%) =	0.65	

Tabla N° 31: Ancho – Rumipampa.

Muestra	Ancho (mm)					Resultados por cada unidad	
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	V (%)
RMP - VD - 1	125.0	123.0	125.0	124.0	124.25	0.96	0.77
RMP - VD - 2	123.0	123.0	126.0	123.0	123.75	1.50	1.21
RMP - VD - 3	125.0	122.0	129.0	127.0	125.75	2.99	2.37
RMP - VD - 4	125.0	125.0	127.0	123.0	125.00	1.63	1.31
RMP - VD - 5	125.0	122.0	125.0	123.0	123.75	1.50	1.21
RMP - VD - 6	125.0	125.0	126.0	126.0	125.50	0.58	0.46
RMP - VD - 7	125.0	126.0	126.0	124.0	125.25	0.96	0.76
RMP - VD - 8	121.0	119.0	121.0	120.0	120.25	0.96	0.80
RMP - VD - 9	125.0	121.0	120.0	123.0	122.25	2.22	1.81
RMP - VD - 10	125.0	123.0	128.0	128.0	126.00	2.45	1.94
Promedio					124.18		
					$\delta =$	1.79	
					V (%) =	1.44	

Tabla N° 32: Altura – Rumipampa.

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad	
	H1	H2	H3	H4	H Prom	δ	V (%)
RMP - VD - 1	73.0	72.0	75.0	73.0	73.25	1.26	1.72
RMP - VD - 2	73.0	75.0	73.0	73.0	73.50	1.00	1.36
RMP - VD - 3	73.5	75.0	75.0	77.0	75.13	1.44	1.91
RMP - VD - 4	73.0	70.0	70.0	70.0	70.75	1.50	2.12
RMP - VD - 5	75.0	75.0	78.0	78.0	76.50	1.73	2.26
RMP - VD - 6	75.0	77.0	77.0	75.0	76.00	1.15	1.52
RMP - VD - 7	73.0	73.0	70.0	73.0	72.25	1.50	2.08
RMP - VD - 8	75.0	75.0	75.0	75.0	75.00	0.00	0.00
RMP - VD - 9	75.0	73.0	75.0	75.0	74.50	1.00	1.34
RMP - VD - 10	75.0	75.0	75.0	75.0	75.00	0.00	0.00
Promedio					74.19		
					$\delta =$	1.76	
					V (%) =	2.37	

6.1.2. Resumen

Tabla N° 33: Resumen de dimensiones promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Dimensiones en mm		
	L (mm)	A (mm)	H (mm)
Cerrillo Parte Alta	212.10	121.15	77.30
Carrillo Parte Baja	215.40	125.50	73.80
Santa Bárbara	208.63	120.84	75.30
Rumipampa	210.70	124.18	74.19

6.2. Ensayo de Alabeo

6.2.1. Resultados

Los resultados de alabeo fueron calculados según el procedimiento de ensayo que se describe en el ítem 4.3.1.2 del capítulo 4 para el alabeo.

Tabla N° 34: Cerrillo Parte Alta.

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo		
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	
CPA - A - 1	2.00	3.00	3.00	2.00	2.50	2.50	
CPA - A - 2	1.50	2.50	0.50	1.00	1.00	1.75	
CPA - A - 3	0.50	0.50	0.00	1.50	0.25	1.00	
CPA - A - 4	2.00	1.50	1.50	0.00	1.75	0.75	
CPA - A - 5	1.00	0.00	0.00	1.50	0.50	0.75	
CPA - A - 6	4.05	2.00	1.50	1.00	2.78	1.50	
CPA - A - 7	2.00	2.00	1.00	0.50	1.50	1.25	
CPA - A - 8	0.00	1.00	1.00	2.50	0.50	1.75	
CPA - A - 9	1.00	1.50	1.00	0.50	1.00	1.00	
CPA - A - 10	0.00	1.50	0.00	1.00	0.00	1.25	
					Promedio	1.18	1.35

Tabla N° 35: Cerrillo Parte Baja.

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo		
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	
CPB - A - 1	1.50	0.50	0.50	2.50	1.00	1.50	
CPB - A - 2	1.50	0.50	1.00	0.00	1.25	0.25	
CPB - A - 3	2.50	0.00	1.00	1.00	1.75	0.50	
CPB - A - 4	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.50	
CPB - A - 5	1.00	0.50	3.00	0.00	2.00	0.25	
CPB - A - 6	0.00	1.50	1.50	0.00	0.75	0.75	
CPB - A - 7	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	
CPB - A - 8	1.00	0.00	0.50	0.00	0.75	0.00	
CPB - A - 9	4.00	6.00	0.00	5.00	2.00	5.50	
CPB - A - 10	0.50	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	
					Promedio	1.33	1.13

Tabla N° 36: Santa Bárbara.

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
SB - A - 1	4.00	0.00	0.00	2.50	2.00	1.25
SB - A - 2	2.00	0.00	1.00	0.00	1.50	0.00
SB - A - 3	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
SB - A - 4	3.00	0.00	0.50	0.00	1.75	0.00
SB - A - 5	1.50	1.00	1.00	1.00	1.25	1.00
SB - A - 6	1.00	0.00	1.50	0.00	1.25	0.00
SB - A - 7	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
SB - A - 8	2.50	0.00	1.00	0.00	1.75	0.00
SB - A - 9	2.00	1.00	1.00	0.00	1.50	0.50
SB - A - 10	1.00	0.00	2.00	0.00	1.50	0.00
				Promedio	1.45	0.28

Tabla N° 37: Rumipampa.

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
RMP - A - 1	2.00	0.00	1.00	0.00	1.50	0.00
RMP - A - 2	0.00	1.50	2.00	0.00	1.00	0.75
RMP - A - 3	0.50	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00
RMP - A - 4	1.00	0.50	1.50	0.00	1.25	0.25
RMP - A - 5	1.50	0.00	1.00	0.00	1.25	0.00
RMP - A - 6	5.00	0.50	4.00	4.00	4.50	2.25
RMP - A - 7	2.00	1.50	1.50	1.00	1.75	1.25
RMP - A - 8	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
RMP - A - 9	2.50	0.00	3.50	0.00	3.00	0.00
RMP - A - 10	0.50	0.00	1.50	1.50	1.00	0.75
				Promedio	1.70	0.53

6.2.2. Resumen

Tabla N° 38: Resumen del Alabeo promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Alabeo en (mm)	
	Cóncavo	Convexo
Cerrillo Parte Alta	1.18	1.35
Carrillo Parte Baja	1.33	1.13
Santa Bárbara	1.45	0.28
Rumipampa	1.70	0.53

6.3. Ensayo de Resistencia a la Compresión de la unidad de Albañilería (f'_b)

6.3.1. Resultados

Los resultados de resistencia a compresión fueron calculados según la Ecuación N°3. Procedimiento de ensayo para resistencia a la compresión en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 39: Cerrillo Parte Alta.

Identificación de especímenes	Dimensiones (cm)		Área (cm ²) A	Carga (Kg) Pu	f'_b (kg/cm ²)
	Largo	Ancho			
CPA - RC - 1	12.90	10.10	130.29	7,220.00	55.41
CPA - RC - 2	12.90	10.80	139.32	5,831.00	41.85
CPA - RC - 3	12.90	10.90	140.61	6,023.00	42.83
CPA - RC - 4	12.90	11.10	143.19	8,651.00	60.42
CPA - RC - 5	12.70	10.80	137.16	5,335.00	38.90
CPA - RC - 6	12.80	10.80	138.24	7,094.00	51.32
CPA - RC - 7	12.80	10.90	139.52	6,242.00	44.74
CPA - RC - 8	12.80	10.70	136.96	6,549.00	47.82
Promedio =					48.18
δ =					7.69
Prom - δ =					40.49

Tabla N°40: Cerrillo Parte Baja.

Identificación de especímenes	Dimensiones (cm)		Área (cm ²) A	Carga (Kg) Pu	f'_b (kg/cm ²)
	Largo	Ancho			
CPB - RC - 1	12.20	10.50	128.10	5,582.00	43.58
CPB - RC - 2	12.20	10.50	128.10	6,630.00	51.76
CPB - RC - 3	12.20	10.20	124.44	4,564.00	36.68
CPB - RC - 4	12.10	10.40	125.84	5,663.00	45.00
CPB - RC - 5	12.10	10.30	124.63	5,819.00	46.69
CPB - RC - 6	12.20	10.70	130.54	8,796.00	67.38
CPB - RC - 7	12.20	10.80	131.76	4,575.00	34.72
CPB - RC - 8	12.30	10.90	134.07	4,948.00	36.91
Promedio =					45.34
δ =					10.63
Prom - δ =					34.71

Tabla N°41: Santa Bárbara.

Identificación de especímenes	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'_b
	Largo	Ancho	A	Pu	(kg/cm ²)
SB - RC - 1	12.40	10.40	128.96	7,471.00	57.93
SB - RC - 2	12.10	10.30	124.63	5,353.00	42.95
SB - RC - 3	12.20	10.30	125.66	6,796.00	54.08
SB - RC - 4	12.15	10.55	128.18	5,426.00	42.33
SB - RC - 5	12.20	10.80	131.76	7,898.00	59.94
SB - RC - 6	12.20	10.60	129.32	6,046.00	46.75
SB - RC - 7	12.10	10.20	123.42	4,927.00	39.92
SB - RC - 8	12.55	10.40	130.52	5,819.00	44.58
Promedio =					48.56
δ =					7.67
Prom - δ =					40.89

Tabla N°42: Rumipampa.

Identificación de especímenes	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'_b
	Largo	Ancho	A	Pu	(kg/cm ²)
RMP - RC - 1	12.40	10.20	126.48	5,818.00	46.00
RMP - RC - 2	12.60	10.30	129.78	5,452.00	42.01
RMP - RC - 3	12.50	9.95	124.38	5,798.00	46.62
RMP - RC - 4	12.40	10.10	125.24	5,715.00	45.63
RMP - RC - 5	12.20	10.35	126.27	4,907.00	38.86
RMP - RC - 6	12.00	10.40	124.80	6,518.00	52.23
RMP - RC - 7	12.30	10.30	126.69	6,134.00	48.42
RMP - RC - 8	12.10	10.30	124.63	7,046.00	56.54
Promedio =					47.04
δ =					5.53
Prom - δ =					41.50

6.3.2. Resumen

Tabla N°43: Resumen de resistencia a compresión promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Resistencia a compresión en unidades Kg/cm ²
Cerrillo Parte Alta	40.49
Carrillo Parte Baja	34.71
Santa Bárbara	40.89
Rumipampa	41.50

6.4. Ensayo de Tracción por Flexión (f_{tb})

6.4.1. Resultados

Los resultados de resistencia a tracción por flexión fueron calculadas según la Ecuación N°4. Procedimiento de ensayo para resistencia a la compresión en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N°44: Cerrillo Parte Alta.

Espécimen	P (kg)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	f_{tb} (kg/cm ²)
CPA - MR - 1	244.00	18.00	12.25	7.80	8.84
CPA -MR - 2	134.00	18.00	12.25	7.80	4.85
CPA - MR - 3	257.00	18.00	12.15	7.70	9.63
CPA - MR - 4	234.00	18.00	12.15	7.70	8.77
CPA - MR - 5	325.00	18.00	12.30	7.80	11.73
CPA - MR - 6	319.00	18.00	12.20	7.80	11.60
CPA -MR - 7	280.00	18.00	12.20	8.00	9.68
CPA - MR - 8	332.00	18.00	12.05	7.80	12.23
CPA - MR - 9	276.00	18.00	12.10	7.90	9.87
CPA - MR - 10	246.00	18.00	12.10	7.90	8.80
Promedio =					9.60
δ =					2.11
Prom - δ =					7.49

Tabla N°45: Cerrillo Parte Baja.

Espécimen	P (kg)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	f_{tb} (kg/cm ²)
CPB - MR - 1	327.00	18.00	12.65	7.70	11.77
CPB - MR - 2	217.00	18.00	12.60	7.70	7.84
CPB - MR - 3	245.00	18.00	12.55	7.55	9.25
CPB - MR - 4	344.00	18.00	12.55	7.60	12.81
CPB - MR - 5	325.00	18.00	12.70	7.70	11.65
CPB - MR - 6	356.00	18.00	12.55	7.55	13.44
CPB - MR - 7	249.00	18.00	12.55	7.40	9.78
CPB - MR - 8	319.00	18.00	12.80	7.50	11.96
CPB - MR - 9	297.00	18.00	12.30	7.50	11.59
CPB - MR - 10	340.00	18.00	12.90	7.40	13.00
Promedio =					11.31
δ =					1.80
Prom - δ =					9.51

Tabla N°46: Santa Bárbara.

Espécimen	P (kg)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	f'tb (kg/cm ²)
SB - MR - 1	349.00	18.00	12.00	7.50	13.96
SB - MR - 2	297.00	18.00	12.00	7.80	10.98
SB - MR - 3	223.00	18.00	12.00	7.70	8.46
SB - MR - 4	247.00	18.00	11.90	7.70	9.45
SB - MR - 5	258.00	18.00	12.10	7.60	9.97
SB - MR - 6	256.00	18.00	12.05	7.70	9.67
SB - MR - 7	275.00	18.00	12.00	7.70	10.44
SB - MR - 8	337.00	18.00	12.00	7.50	13.48
SB - MR - 9	357.00	18.00	12.00	7.40	14.67
SB - MR - 10	352.00	18.00	11.90	7.80	13.13
Promedio =					11.42
δ =					2.19
Prom - δ =					9.23

Tabla N°47: Rumipampa.

Especimen	P (kg)	L (cm)	b (cm)	h (cm)	f'tb (kg/cm ²)
RMP - MR - 1	287.00	18.00	12.35	7.10	12.45
RMP - MR - 2	278.00	18.00	12.45	7.50	10.72
RMP - MR - 3	292.00	18.00	12.30	7.35	11.86
RMP - MR - 4	280.00	18.00	12.35	7.60	10.60
RMP - MR - 5	276.00	18.00	12.50	7.50	10.60
RMP - MR - 6	206.00	18.00	12.30	7.50	8.04
RMP - MR - 7	211.00	18.00	12.40	7.40	8.39
RMP - MR - 8	241.00	18.00	12.10	7.50	9.56
RMP - MR - 9	288.00	18.00	12.40	7.40	11.45
RMP - MR - 10	236.00	18.00	12.10	7.50	9.36
Promedio =					10.30
δ =					1.45
Prom - δ =					8.85

6.4.2. Resumen

Tabla N°48: Resumen de tracción por flexión promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Resistencia a Tracción por flexión Kg/cm ²
Cerrillo Parte Alta	7.49
Carrillo Parte Baja	9.51
Santa Bárbara	9.23
Rumipampa	8.85

6.5. Densidad y Humedad natural

6.5.1. Resultados

Los resultados de densidad y humedad natural fueron calculados según las Ecuaciones N° 5 y 6. Procedimiento de ensayo para determinar el peso específico y la humedad natural en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N°49: Cerrillo Parte Alta.

Especímenes	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Humedad Natural (%)
CPA - D - 1	2185.91	1.34	0.41
CPA - D - 2	2053.13	1.39	0.57
CPA - D - 3	2036.98	1.39	0.53
CPA - D - 4	2053.13	1.39	0.43
CPA - D - 5	1972.80	1.47	0.80
CPA - D - 6	1950.40	1.45	0.49
CPA - D - 7	2032.63	1.39	0.49
CPA - D - 8	2030.35	1.42	0.84
CPA - D - 9	2032.63	1.41	0.45
CPA - D - 10	2015.63	1.41	0.43
Promedio	2036.36	1.41	0.54

Tabla N° 50: Cerrillo Parte Baja.

Especímenes	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Humedad Natural (%)
CPB - D - 1	1979.50	1.59	0.64
CPB - D - 2	2003.16	1.53	0.13
CPB - D - 3	1917.33	1.60	0.15
CPB - D - 4	1932.98	1.63	0.66
CPB - D - 5	2054.08	1.59	0.38
CPB - D - 6	1937.25	1.59	0.99
CPB - D - 7	1960.88	1.54	0.09
CPB - D - 8	2012.40	1.50	0.11
CPB - D - 9	2018.24	1.52	0.28
CPB - D - 10	2012.47	1.61	0.44
Promedio	1982.83	1.57	0.39

Tabla N° 51: Santa Bárbara.

Especímenes	volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Humedad Natural (%)
SB - D - 1	1924.32	1.49	0.77
SB - D - 2	1949.64	1.52	1.04
SB - D - 3	1956.57	1.49	0.95
SB - D - 4	1956.57	1.51	1.11
SB - D - 5	1908.28	1.55	0.93
SB - D - 6	1907.20	1.56	1.20
SB - D - 7	1908.28	1.53	1.22
SB - D - 8	1915.95	1.51	0.95
SB - D - 9	1883.81	1.60	1.24
SB - D - 10	1887.60	1.52	0.94
Promedio	1919.82	1.53	1.04

Tabla N° 52: Rumipampa.

Especímenes	volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Humedad Natural (%)
RMP - D - 1	1990.26	1.58	0.18
RMP - D - 2	1839.60	1.58	1.52
RMP - D - 3	1876.61	1.62	0.36
RMP - D - 4	2007.31	1.55	1.06
RMP - D - 5	1970.25	1.54	0.86
RMP - D - 6	1946.48	1.57	1.25
RMP - D - 7	1962.30	1.54	1.12
RMP - D - 8	1933.25	1.58	0.87
RMP - D - 9	1949.76	1.60	1.16
RMP - D - 10	1930.65	1.55	1.40
Promedio	1940.65	1.57	0.98

6.5.2. Resumen

Tabla N° 53: Resumen de Densidad y humedad natural promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Densidad (gr/cm ³)	Humedad natural (%)
Cerrillo Parte Alta	1.41	0.54
Carrillo Parte Baja	1.57	0.39
Santa Bárbara	1.53	1.04
Rumipampa	1.57	0.98

6.6. Succión

6.6.1. Resultados

Los resultados de resistencia a compresión fueron calculados según la Ecuación N°7. Procedimiento de ensayo para determinar la succión en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 54: Cerrillo Parte Alta.

Especímenes	Área de asiento (cm ²)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/200cm ² /min)
CPA - S - 1	270.000	99.800	73.926
CPA - S - 2	277.200	59.400	42.857
CPA - S - 3	261.360	90.200	69.024
CPA - S - 4	276.860	65.500	47.316
CPA - S - 5	269.080	101.500	75.442
CPA - S - 6	270.000	55.800	41.333
CPA - S - 7	268.140	138.000	102.931
CPA - S - 8	270.000	52.700	39.037
CPA - S - 9	273.050	86.700	63.505
CPA - S - 10	272.500	64.000	46.972
		Promedio	60.234

Tabla N° 55: Cerrillo Parte Baja.

Especímenes	Área de asiento (cm ²)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/200cm ² /min)
CPB - S - 1	256.800	106.200	82.710
CPB - S - 2	258.640	52.000	40.210
CPB - S - 3	264.120	56.100	42.481
CPB - S - 4	253.200	59.600	47.077
CPB - S - 5	260.150	63.400	48.741
CPB - S - 6	254.610	72.800	57.185
CPB - S - 7	258.000	90.000	69.767
CPB - S - 8	258.940	57.000	44.026
CPB - S - 9	258.300	50.000	38.715
CPB - S - 10	266.600	42.200	31.658
		Promedio	50.257

Tabla N° 56: Santa Bárbara.

Especímenes	Área de asiento (cm ²)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/200cm ² /min)
SB - S - 1	264.120	73.100	55.354
SB - S - 2	258.300	61.700	47.774
SB - S - 3	258.000	61.700	47.829
SB - S - 4	259.530	52.300	40.304
SB - S - 5	262.880	41.100	31.269
SB - S - 6	258.640	49.000	37.891
SB - S - 7	259.530	54.000	41.614
SB - S - 8	262.300	50.100	38.201
SB - S - 9	253.760	60.600	47.762
SB - S - 10	261.080	73.200	56.075
Promedio			44.407

Tabla N° 57: Rumipampa.

Especímenes	Área de asiento (cm ²)	Pm - Ps (gr)	Succión (gr/200cm ² /min)
RMP - S - 1	248.980	51.000	40.967
RMP - S - 2	255.600	63.500	49.687
RMP - S - 3	247.800	48.900	39.467
RMP - S - 4	254.400	51.900	40.802
RMP - S - 5	258.300	35.700	27.642
RMP - S - 6	253.200	45.800	36.177
RMP - S - 7	258.940	51.700	39.932
RMP - S - 8	256.520	41.500	32.356
RMP - S - 9	258.640	66.800	51.655
RMP - S - 10	246.620	51.400	41.684
Promedio			40.037

6.6.2. Resumen

Tabla N° 58: Resumen de Succión promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Succión (gr/200cm ² /min)
Cerrillo Parte Alta	60.234
Carrillo Parte Baja	50.257
Santa Bárbara	44.407
Rumipampa	40.037

6.7. Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación

6.7.1. Resultados

Los resultados de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación fueron calculados según las Ecuaciones N° 8, 9 y 10 respectivamente. Procedimiento de ensayo para determinar la absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 59: Cerrillo Parte Alta

Especímenes	Absorción (%)	Abs. Máxima (%)	Coef. De saturación
CPA - AB - 1	15.12	20.74	0.73
CPA - AB - 2	14.73	20.34	0.72
CPA - AB - 3	16.35	22.11	0.74
CPA - AB - 4	14.63	20.45	0.72
CPA - AB - 5	15.51	21.43	0.72
CPA - AB - 6	15.73	21.23	0.74
CPA - AB - 7	14.78	20.73	0.71
CPA - AB - 8	16.83	22.94	0.73
CPA - AB - 9	14.36	20.24	0.71
CPA - AB - 10	16.82	22.50	0.75
Promedio	15.49	21.27	0.73

Tabla N° 60: Cerrillo Parte Baja

Especímenes	Absorción (%)	Abs. Máxima (%)	Coef. De saturación
CPB - AB - 1	22.73	26.90	0.84
CPB - AB - 2	23.85	28.50	0.84
CPB - AB - 3	23.96	28.72	0.83
CPB - AB - 4	23.53	28.08	0.84
CPB - AB - 5	23.75	28.61	0.83
CPB - AB - 6	24.09	28.50	0.85
CPB - AB - 7	23.29	27.78	0.84
CPB - AB - 8	22.03	28.02	0.79
CPB - AB - 9	23.75	28.73	0.83
CPB - AB - 10	24.01	28.49	0.84
Promedio	23.50	28.23	0.83

Tabla N° 61: Santa Bárbara

Especímenes	Absorción (%)	Abs. Máxima (%)	Coef. De saturación
SB - AB - 1	19.60	23.65	0.83
SB - AB - 2	19.37	23.46	0.83
SB - AB - 3	19.58	25.02	0.78
SB - AB - 4	19.75	22.43	0.88
SB - AB - 5	18.63	22.85	0.82
SB - AB - 6	19.15	23.15	0.83
SB - AB - 7	19.04	22.92	0.83
SB - AB - 8	19.44	23.45	0.83
SB - AB - 9	19.05	21.32	0.89
SB - AB - 10	19.37	25.43	0.76
Promedio	19.30	23.37	0.83

Tabla N° 62: Rumipampa

Especímenes	Absorción (%)	Abs. Máxima (%)	Coef. De saturación
RMP - AB - 1	14.09	17.79	0.79
RMP - AB - 2	15.29	18.54	0.82
RMP - AB - 3	15.60	19.11	0.82
RMP - AB - 4	14.18	17.41	0.81
RMP - AB - 5	13.71	17.76	0.77
RMP - AB - 6	14.12	18.34	0.77
RMP - AB - 7	15.33	19.47	0.79
RMP - AB - 8	14.39	17.90	0.80
RMP - AB - 9	15.07	18.78	0.80
RMP - AB - 10	14.35	17.79	0.81
Promedio	14.61	18.29	0.80

6.7.2. Resumen

Tabla N° 63: Resumen de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	Absorción (%)	Absorción máxima (%)	Coficiente de saturación
Cerrillo Parte Alta	15.49	21.27	0.73
Carrillo Parte Baja	23.50	28.23	0.83
Santa Bárbara	19.30	23.37	0.83
Rumipampa	14.61	18.29	0.80

6.8. Ensayo de Pilas

6.8.1. Resultados

Los resultados de resistencia a compresión en pilas fueron calculados según la Ecuación N° 11. Procedimiento de ensayo de pilas en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 64: Cerrillo Parte Alta según coeficientes de norma E.070

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según E.070	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	264.60	10767.00	2.86	0.879	35.77
Prisma 2	264.37	11287.00	2.86	0.879	37.53
Prisma 3	264.37	11743.00	2.85	0.877	38.96
Prisma 4	270.99	10298.00	2.79	0.864	32.83
Prisma 5	260.15	10427.00	2.87	0.615	24.65
Promedio =					33.95
δ =					5.68
Prom - δ =					28.27

Tabla N° 65 Cerrillo Parte Alta según coeficientes de NTP 339.605.

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según UBC, 1997	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	264.60	10767.00	2.86	1.062	43.21
Prisma 2	264.37	11287.00	2.86	1.062	45.34
Prisma 3	264.37	11743.00	2.85	1.061	47.13
Prisma 4	270.99	10298.00	2.79	1.057	40.17
Prisma 5	260.15	10427.00	2.87	1.062	42.57
Promedio =					43.68
δ =					2.67
Prom - δ =					41.02

Tabla N° 66: Cerrillo Parte Baja según coeficientes de norma E.070

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según E.070	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	276.04	11361.00	2.66	0.835	34.37
Prisma 2	280.04	11454.00	2.62	0.826	33.78
Prisma 3	277.31	10570.00	2.66	0.835	31.83
Prisma 4	276.38	11966.00	2.65	0.833	36.07
Prisma 5	277.22	12264.00	2.66	0.835	36.94
Promedio =					34.60
δ =					2.00
Prom - δ =					32.59

Tabla N° 67: Cerrillo Parte Baja según coeficientes de NTP 339.605.

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según UBC, 1997	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	276.04	11361.00	2.66	1.050	43.22
Prisma 2	280.04	11454.00	2.62	1.047	42.82
Prisma 3	277.31	10570.00	2.66	1.050	40.02
Prisma 4	276.38	11966.00	2.65	1.049	45.42
Prisma 5	277.22	12264.00	2.66	1.050	46.45
Promedio =					43.59
δ =					2.50
Prom - δ =					41.09

Tabla N° 68: Santa Bárbara según coeficientes de norma E.070.

Muestra	Area (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según E.070	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	260.37	9466.00	2.81	0.868	31.56
Prisma 2	255.01	10449.00	2.84	0.875	35.85
Prisma 3	259.09	10756.00	2.79	0.864	35.87
Prisma 4	258.42	9657.00	2.79	0.864	32.29
Prisma 5	258.64	10794.00	2.83	0.873	36.43
Promedio =					34.40
δ =					2.29
Prom - δ =					32.11

Tabla N° 69: Santa Bárbara según coeficientes de NTP 339.605.

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según UBC, 1997	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	260.37	9466.00	2.81	1.059	38.50
Prisma 2	255.01	10449.00	2.84	1.060	43.43
Prisma 3	259.09	10756.00	2.79	1.057	43.88
Prisma 4	258.42	9657.00	2.79	1.057	39.50
Prisma 5	258.64	10794.00	2.83	1.060	44.24
Promedio =					41.91
δ =					2.70
Prom - δ =					39.22

Tabla N° 70: Rumipampa según coeficientes de norma E.070.

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según E.070	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	260.42	9666.00	2.73	0.851	31.59
Prisma 2	258.86	9510.00	2.75	0.855	31.41
Prisma 3	266.18	10442.00	2.69	0.842	33.03
Prisma 4	265.76	9742.00	2.68	0.840	30.79
Prisma 5	264.28	9507.00	2.71	0.846	30.43
Promedio =					31.45
δ =					1.00
Prom - δ =					30.45

Tabla N° 71: Rumipampa según coeficientes de NTP 339.605.

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esbeltez ht/tp	Coef. De correc. Según UBC, 1997	f'_m (kg/cm ²)
Prisma 1	260.42	9666.00	2.73	1.054	39.12
Prisma 2	258.86	9510.00	2.75	1.055	38.76
Prisma 3	266.18	10442.00	2.69	1.051	41.23
Prisma 4	265.76	9742.00	2.68	1.051	38.53
Prisma 5	264.28	9507.00	2.71	1.053	37.88
Promedio =					39.10
δ =					1.27
Prom - δ =					37.83

6.8.2. Resumen

Tabla N° 72: Resumen de Resistencia a compresión de pilas en promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	$f'm$ (*) (kg/cm ²)	$f'm$ (**) (kg/cm ²)
Cerrillo Parte Alta	28.27	41.02
Carrillo Parte Baja	32.59	41.09
Santa Bárbara	32.11	39.22
Rumipampa	30.45	37.83

(*) Resistencia calculada con coeficientes de la Norma E.070 de Albañilería.

(**) Resistencia calculada con coeficientes de NTP 339.605. Ensayo a pilas.

6.9. Ensayo de Mortero

6.9.1. Resultados

Los resultados de resistencia a compresión del mortero fueron calculados según la Ecuación N° 12. Procedimiento de ensayo a compresión del mortero en el capítulo 4 de la presente investigación.

Tabla N° 73: Cerrillo Parte Alta

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	f'_c (kg/cm ²)
CPA - 1	4.99	4.99	24.90	3753.00	150.72
CPA - 2	4.98	4.98	24.80	3998.00	161.21
CPA - 3	4.97	4.97	24.70	3724.00	150.76
CPA - 4	5.00	4.99	24.95	3433.00	137.60
CPA - 5	4.97	4.98	24.75	3625.00	146.46
CPA - 6	4.97	4.99	24.80	3732.00	150.48
Promedio =					149.54
δ =					7.64
Promedio - δ =					141.90

Tabla N° 74: Cerrillo Parte Baja

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	f'_c (kg/cm ²)
CPB - 1	4.99	4.99	24.90	3600.00	144.58
CPB - 2	4.98	4.98	24.80	4269.00	172.13
CPB - 3	4.97	4.97	24.70	3970.00	160.72
CPB - 4	5.00	4.99	24.95	4464.00	178.92
CPB - 5	4.97	4.98	24.75	3741.00	151.15
CPB - 6	4.97	4.99	24.80	3773.00	152.14
Promedio =					159.94
δ =					13.29
Promedio - δ =					146.65

Tabla N° 75: Santa Bárbara

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	f'_c (kg/cm ²)
SB - 1	4.99	4.99	24.90	3493.00	140.28
SB - 2	4.98	4.98	24.80	4211.00	169.80
SB - 3	4.97	4.97	24.70	3940.00	159.51
SB - 4	5.00	4.99	24.95	3951.00	158.36
SB - 5	4.97	4.98	24.75	3934.00	158.95
SB - 6	4.97	4.99	24.80	3480.00	140.32
Promedio =					154.53
δ =					11.81
Promedio - δ =					142.73

Tabla N° 76: Rumipampa

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	f'_c (kg/cm ²)
RMP - 1	4.95	4.95	24.50	3445.00	140.60
RMP - 2	4.97	4.97	24.70	3649.00	147.73
RMP - 3	4.95	4.95	24.50	3586.00	146.35
RMP - 4	4.97	4.97	24.70	3478.00	140.80
RMP - 5	4.94	4.98	24.60	3617.00	147.03
RMP - 6	4.97	4.99	24.80	3916.00	157.90
Promedio =					146.73
δ =					6.30
Promedio - δ =					140.43

6.9.2. Resumen

Tabla N° 77: Resumen de Resistencia a compresión del mortero en promedio para cada ladrillera.

Ladrillera	f'_c (kg/cm ²)
Cerrillo Parte Alta	141.90
Carrillo Parte Baja	146.65
Santa Bárbara	142.73
Rumipampa	140.43

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Ensayos a la unidad de Albañilería

7.1. Ensayo de Variación dimensional

7.1.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra en la Tabla N° 78 que clasifica los resultados de variabilidad dimensional según la Norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 78: Clasificación de los ladrillos por variabilidad dimensional

Ladrillera	Variabilidad dimensional						Clasificación* Según NTP E.070
	L (mm)	V(%) de L	A (mm)	V(%) de A	H (mm)	V(%) de H	
Cerrillo Parte Alta	212.10	0.48	121.15	0.43	77.30	1.12	Tipo V
Cerrillo Parte Baja	215.40	0.69	125.50	0.88	73.80	1.28	Tipo V
Santa Bárbara	208.63	0.46	120.84	0.84	75.30	1.37	Tipo V
Rumipampa	210.70	0.65	124.18	1.44	74.19	2.37	Tipo V

*Ver tabla N° 7.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La tabla N° 78. Nos muestra la gran variación en las dimensiones de largo, ancho y espesor de cada ladrillera, siendo la longitud y el ancho las dimensiones más bajas de la ladrillera Santa Bárbara y las más altas de la ladrillera Cerrillo Parte Baja.

Sin embargo ninguna cumple con las medidas indicadas al momento de vender por el fabricante que son de 21x12x8 cm. En cuanto a la clasificación para cada ladrillera, ésta se obtuvo comparando la tabla N° 78 con la tabla N° 7, resultado que todas las ladrilleras tienen una clasificación de sus ladrillos de tipo V la cual indica que tienen una resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas (ITINTEC 331.017,1978).

En ninguna ladrillera llega a la altura mínima de 8 cm; lo cual genera grandes dificultades en la junta, ya que se aumentaría su espesor y en consecuencia su resistencia a compresión y a corte disminuiría.

7.2. Ensayo de Alabeo

7.2.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 79 que clasifica los resultados del ensayo de Alabeo y se compara con la clasificación según la Norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 79: Clasificación de los ladrillos por Alabeo.

Ladrillera	Alabeo		Norma E.070	Clasificación*
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)		
Cerrillo Parte Alta	1.18	1.35	Ladrillo tipo V, el alabeo máximo es de 2 mm.	Tipo V
Cerrillo Parte Baja	1.33	1.13		Tipo V
Santa Bárbara	1.45	0.28		Tipo V
Rumipampa	1.70	0.53		Tipo V

*Ver tabla N° 8

Fuente: Elaboración propia.

Esta clasificación se obtuvo con la comparación de la Tabla N° 79 con la Tabla N° 8. Todas las ladrilleras presentan un alabeo significativo, sobre todo un alabeo cóncavo. Esto implica que a mayor alabeo conduce a un mayor espesor de junta como se mencionó en la variación dimensional; 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. Recordemos que por cada 3 mm de espesor de mortero la resistencia a compresión disminuye en un 15% (Bartolomé, 1995).

7.3. Ensayo de Resistencia a la Compresión de la unidad de Albañilería (f'_b)

7.3.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N°80 que resume los resultados del ensayo de compresión de la unidad de albañilería y se compara con la clasificación según la Norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 80: Clasificación de los ladrillos por resistencia a compresión.

Ladrillera	f'_b (kg/cm ²)	f'_b (Mpa)	Tipo I* f'_b min (kg/cm ²)	Clasificación Según E.070
Cerrillo Parte Alta	40.49	3.97	50	No clasifica
Cerrillo Parte Baja	34.71	3.40	50	No clasifica
Santa Bárbara	40.89	4.01	50	No clasifica
Rumipampa	41.50	4.07	50	No clasifica

*Ver tabla N° 9.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 80 nos muestra que la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de todas las ladrilleras en estudio, no alcanzan ni a la mínima resistencia que exige la norma E.070 que es de 50 kg/cm² para un ladrillo Tipo I. Asimismo, tampoco cumple con la resistencia de 55 kg/cm² para una ladrillo de arcilla King Kong Artesanal según la Tabla N° 9.

Estos valores bajos nos señalan una baja calidad para fines estructurales; es decir, una unidad poco resistente y poco durable. Según Bartolomé (1995), el f'_b también depende de la altura de la probeta, a menor altura mayor resistencia.

La resistencia a compresión de la unidad es la propiedad más importantes ya que define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

7.4. Ensayo de Tracción por Flexión (f_{tb})

7.4.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 81 en la que se compara los resultados del ensayo de tracción por flexión, con los ensayos de resistencia a compresión de la unidad de albañilería.

Tabla N° 81: Comparación de Resistencia a tracción con la resistencia a compresión

Ladrillera	Resistencia a tracción	Resistencia a compresión
	f_{tb} (kg/cm ²)	f'_b (kg/cm ²)
Cerrillo Parte Alta	7.49	40.49
Cerrillo Parte Baja	9.51	34.71
Santa Bárbara	9.23	40.89
Rumipampa	8.85	41.50

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Al igual que la resistencia a compresión (f'_b), el ensayo de tracción por flexión solo constituye una medida de la calidad de la unidad. Su evaluación se realizó, debido a un alto alabeo que presentan las unidades de albañilería de las ladrilleras en estudio y que pueden conducir a que la unidad de estudio presente una falla de tracción por flexión.

El ensayo de tracción por flexión es una medida aproximada de la resistencia a la tracción del ladrillo; para lo cual los valores de la Tabla N° 81 son muy bajos en comparación a su resistencia. En general, esta propiedad no es considerada como requisito para la clasificación del ladrillo puesto que está muy relacionado con la resistencia a compresión.

7.5. Peso específico y Humedad natural

7.5.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 82 que clasifica a los resultados del ensayo de peso específico o densidad según la norma ITINTEC que se muestra capítulo II, específicamente en la Tabla N° 11.

Tabla N° 82: Clasificación de la unidad por densidad según ITINTEC 331.017.

Ladrillera	Densidad (gr/cm ³)	Clasificación* Según ITINTEC 331.017	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Cerrillo Parte Alta	1.41	No clasifica	40.49
Cerrillo Parte Baja	1.57	Tipo II	34.71
Santa Bárbara	1.53	Tipo I	40.89
Rumipampa	1.57	Tipo II	41.50

*Ver tabla N° 11.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La densidad tiene una relación estrecha con la resistencia a compresión; es decir, a mayor densidad existen mejores propiedades de resistencia y de perfección geométrica. Entonces, según lo mencionado anteriormente y según la tabla N° 82, la ladrillera Cerrillo Parte Baja y Rumipampa tienen mayor densidad (1.57 gr/cm³), por lo tanto tendría un buen comportamiento de resistencia. Sin embargo, se observa que solamente Rumipampa cumpliría esta relación ya que presenta la mayor resistencia de 41.50 kg/cm² en comparación con Cerrillo Parte Baja.

En Cerrillo Parte Alta (1.41 kg/cm³) no tendría una buena resistencia como se observa en la tabla. La norma ITINTEC 331.017 (1978) clasifica al ladrillo según su densidad, siendo las ladrilleras Cerrillo parte baja y Rumipampa un ladrillo Tipo II de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones sujetas a condiciones de bajo intemperismo. En general, si se tendría que escoger una ladrillera por clasificación de densidad y por la relación con la resistencia a compresión se escogería la ladrillera Rumipampa.

No existe ninguna referencia a un valor máximo de expansión por humedad que deba cumplir el ladrillo visto.

Tabla N° 83: Humedad natural de cada ladrillera.

Ladrillera	Humedad Natural (%)
Cerrillo Parte Alta	0.54
Cerrillo Parte Baja	0.39
Santa Bárbara	1.04
Rumipampa	0.98

Fuente: Elaboración propia, 2015.

7.6. Succión

7.6.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra a Tabla N° 84 compara los resultados del ensayo de succión o periodo inicial de absorción con la norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 84: Comparación de resultados obtenidos del ensayo de succión con la norma E.070

Ladrillera	Succión (gr/200cm ² /min)	Norma E.070
Cerrillo Parte Alta	60.23	Se recomienda que la succión al instante de asentarlas esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm ² -min.
Cerrillo Parte Baja	50.26	
Santa Bárbara	44.41	
Rumipampa	40.04	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Según la Norma E.070, nos indica que las unidades deben tener una succión comprendida entre 10 y 20 gr/200cm²/min antes de ser asentadas, para lo cual ninguna de las ladrilleras en estudio cumple lo permitido por la norma y más bien sobrepasa el límite. Estos resultados traen consecuencias al momento de la construcción, en las uniones entre el ladrillo y el mortero. El mortero, debido a una rápida pérdida de parte del agua que es absorbida por el ladrillo hace que se deforme y endurezca generando una adhesión pobre e incompleta con la cara de la siguiente unidad, quedando uniones de baja resistencia.

Es por ello, que la norma E.070 recomienda que se deben regar durante media hora a las unidades de albañilería entre 10 y 15 horas antes de ser asentadas. Sin embargo, para el caso de la ladrillera de Cerrillo Parte Alta que tiene una succión

de 60.23 gr/200cm²/min y en general para una succión elevada es mejor saturar los ladrillos inmediatamente antes de ser asentados.

Al asentar ladrillos secos con elevada succión en su estado natural, disminuye la resistencia hasta en 50% en relación a emplear ladrillos regados con agua o un día antes de asentarlos (Bartolomé, 2005).

7.7. Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación

7.7.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 85 compara los resultados del ensayo de absorción con la norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 85: Comparación de resultados obtenidos del ensayo de Absorción con la norma E.070

Ladrillera	Absorción (%)	Norma E.070
Cerrillo Parte Alta	15.49	La absorción de las unidades de arcilla no será mayor que 22%.
Cerrillo Parte Baja	23.50	
Santa Bárbara	19.30	
Rumipampa	14.61	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Según la norma E.070, **la absorción** de la unidad de albañilería de arcilla no debe sobrepasar el 22%, para lo cual en la Tabla N° 85 todas las ladrilleras cumplen con lo exigido por la norma. Sin embargo, la ladrillera Cerrillo Parte Baja tiene una absorción de 23.50% lo cual indica que su capacidad de absorción es mayor que las otras ladrilleras y se excede en un 1.50% de lo especificado en la norma, debido a que presenta mayor área de porosidad en su composición.

A continuación, se muestra la tabla compara los resultados del ensayo de absorción máxima con la norma ITINTEC 331.07.

Tabla N° 86: Comparación de resultados obtenidos del ensayo de Absorción máxima con la norma E.070

Ladrillera	Absorción Máxima (%)	Norma ITINTEC 331.07
Cerrillo Parte Alta	21.27	Los valores indicados como máximos en la Norma se aplican a condiciones de uso en que se requiera utilizar el ladrillo en contacto constante con agua o con el terreno, sin recubrimiento protector.
Cerrillo Parte Baja	28.23	
Santa Bárbara	23.37	
Rumipampa	18.29	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La absorción máxima es una medida de la impermeabilidad de la unidad. La ladrillera Cerrillo Parte Baja presenta una absorción máxima de 28.23% que según la norma ITINTEC 331.017, los valores máximos se aplican a condiciones de uso en que se requiera utilizar el ladrillo en contacto constante con agua o con el terreno, sin recubrimiento protector. Tal es el caso de cisternas, jardines y albañilería de visto en zonas muy lluviosas.

El coeficiente de saturación es una medida de la durabilidad de la unidad. Los coeficientes de saturación mayores a 0.85, son demasiado absorbentes (muy porosas) y por lo tanto, poco durables (Bartolomé, 1995). Por lo mencionado anteriormente y según la Tabla N° 88, ninguna ladrillera que ha sido estudiada sobrepasa el límite de 0.85; esto significa que las unidades son durables y consecuentemente la resistencia a la intemperie no es inferior.

Tabla N° 87: Coeficientes de saturación

Ladrillera	Coeficiente de saturación
Cerrillo Parte Alta	0.73
Cerrillo Parte Baja	0.83
Santa Bárbara	0.83
Rumipampa	0.80

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Ensayos de Albañilería Simple

7.8. Ensayo de Pilas

7.8.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 88 que compara los resultados del ensayo de Resistencia a la compresión de Pilas con la norma E.070 de Albañilería.

Tabla N° 88: Comparación f'_m con la norma E.070

Ladrillera	f'_m * Mpa (kg/cm ²)	Norma E.070 Mpa (kg/cm ²)	Cumple con la norma E.070
Cerrillo Parte Alta	2.77 (28.27)	Ladrillo King Kong Artesanal de arcilla 3.4 (35)**	No cumple
Cerrillo Parte Baja	3.19 (32.59)		No cumple
Santa Bárbara	3.15 (32.11)		No cumple
Rumipampa	2.99 (30.45)		No cumple

*Resistencia calculada con coeficientes de la norma E.070. (Ver Tabla N° 13).

** Ver Tabla N° 12

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La norma E.070 indica que cuando no se realizan ensayos de pilas se debe considerar una resistencia a la compresión en pilas de 35 kg/cm². En la Tabla N° 88 la resistencia a la compresión mayor es de 32.59 kg/cm² de la ladrillera Cerrillo Parte Baja considerando un coeficiente de corrección de esbeltez que indica la misma norma (ver Tabla N° 14).

Sin embargo, según norma UBC (Uniform Building Code – California) presentada por Gallegos y Casabonne (2005) en la tabla N° 14, la cual se encuentra en la NTP 339.605 para el ensayo de pilas; nos da otro cuadro diferente al de la norma Peruana para los coeficientes de corrección por esbeltez, y la razón es que la norma E.070 utiliza determinados coeficientes teniendo como referencia una relación de esbeltez (ht/tp) de 5, mientras que la norma UBC toma como referencia una relación de esbeltez (ht/tp) de 2.

Es por estas razones que para la presente tesis se ha considerado los dos casos de coeficientes para ver la variación de sus resistencias y teniendo en cuenta que la esbeltez que se consideró en esta investigación es mayor a 2 pero menor que 3,

se asume que la resistencia a la compresión de las pilas más real es según la NTP 339.605.

Tabla N° 89: Comparación de f'_m con la norma E.070.

Ladrillera	f'_m * Mpa (kg/cm ²)	Norma E.070 Mpa (kg/cm ²)	Según Norma E.070
Cerrillo Parte Alta	4.02 (41.02)	Ladrillo King Kong Artesanal de arcilla 3.4 (35)**	Cumple
Cerrillo Parte Baja	4.03 (41.09)		Cumple
Santa Bárbara	3.84 (39.22)		Cumple
Rumipampa	3.71 (37.83)		Cumple

*Resistencia calculada con coeficientes de la norma 339.605. (Ver Tabla N° 14).

** Ver Tabla N° 12.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo a la Tabla N° 88 la resistencia a compresión en pilas no cumple con la resistencia mínima de 35 kg/cm² que indica la norma E.070 de albañilería, sin embargo, la resistencia a compresión en pilas que se muestra en la Tabla N° 89 si cumple con la resistencia mínima de la norma E.070.

7.9. Ensayo de Mortero

7.9.1. Interpretación de resultados

A continuación, se muestra la Tabla N° 90 que compara los resultados del ensayo de resistencia a compresión del mortero con la resistencia para lo cual fueron diseñados inicialmente.

Tabla N° 90: Resistencia a la compresión del mortero

Ladrillera	f'_c (kg/cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)
Cerrillo Parte Alta	141.90	140
Carrillo Parte Baja	146.65	140
Santa Bárbara	142.73	140
Rumipampa	140.43	140

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La resistencia a compresión del mortero cumple en todas las ladrilleras con la resistencia de 140 kg/cm² para lo cual fue inicialmente diseñada. Este ensayo no

clasifica a la unidad de albañilería y sólo se elaboró con fines de controlar la calidad del mortero. Según Bartolomé (1994), no dice que las probetas de mortero no reflejan las condiciones reales que se producen en la junta como: a) la interacción unidad – mortero, o pérdida de agua en la mezcla por succión de la unidad y b) el espesor de la junta, a menor altura de la probeta se obtiene mayor resistencia. Asimismo; nos dice que un decrecimiento del 69% en la resistencia del mortero solo afecta en un 10% a la resistencia a la compresión de la albañilería.

CONCLUSIONES

1. En función del cumplimiento de la hipótesis se determinó las propiedades físico – mecánico de las unidades de albañilería de la provincia de Cajamarca. Y en específico de las ladrilleras Cerrillo parte alta, Cerrillo parte baja, Santa Bárbara y Rumipampa con la finalidad de obtener una base de datos referencial que nos pueda servir cuando se requiera utilizar en la construcción a cualquiera de estas ladrilleras artesanales.
2. Se determinó las propiedades físico – mecánicas de las unidades de albañilería. Las propiedades físicas como son: el Alabeo y Variabilidad dimensional. Asimismo, también se determinó las propiedades mecánicas como son: la Resistencia a compresión, la Resistencia a tracción por flexión, Absorción, Succión y Densidad. De todo esto se concluyó lo siguiente:
 - Ninguna ladrillera en estudio llega a las medidas especificadas por el fabricante al momento de vender (21x12x8). De las 4 ladrilleras en estudio se determinó que la ladrillera Rumipampa presenta mayores variaciones en sus dimensiones (L=0.65%, A = 1.44%y H = 2.37%), seguida por la ladrillera Santa Bárbara (L=0.46%, A = 0.84%y H = 1.37%), luego la ladrillera Cerrillo Parte Baja (L=0.69%, A = 0.88%y H = 1.28%) y finalmente la ladrillera Cerrillo Parte Alta es la que menos variación presentó en sus dimensiones (L=0.48%, A = 0.43%y H = 1.12%). Sin embargo, todas las ladrilleras clasifican como ladrillo Tipo V según la norma E.070 de albañilería (2006).
 - La ladrillera con mayor alabeo es la ladrillera Rumipampa con unos valores de cóncavo = 1.70 mm y convexo con 0.53 mm; seguida por la ladrillera Santa Bárbara con unos valores de cóncavo = 1.45 mm y convexo con 0.28 mm; luego la ladrillera Cerrillo Parte Baja con unos valores de cóncavo = 1.33 mm y convexo con 1.13 mm y finalmente la ladrillera Cerrillo Parte Alta con unos valores de cóncavo = 1.18 mm y convexo con 1.35 mm. Sin embargo, todas las ladrilleras clasifican como ladrillo Tipo V según la norma E.070 de albañilería (2006). Esto implica que, a mayor alabeo conlleva a un mayor espesor de junta. Es decir que la ladrillera Rumipampa tendrá un espesor mayor a 1.5 cm. En comparación con las demás ladrilleras.
 - Ninguna de las ladrilleras en estudio alcanzan a la mínima resistencia que exige la norma E.070 que es de 50 kg/cm² para un ladrillo Tipo I. Siendo 40.49 kg/cm² para la ladrillera Cerrillo parte alta, 34.71 kg/cm² en Cerrillo parte baja, 40.89

- kg/cm² en Santa Bárbara y finalmente 41.50 kg/cm² en Rumipampa. Estos valores bajos nos señalan una baja calidad para fines estructurales; es decir, una unidad poco resistente y poco durable.
- Los resultados del ensayo de tracción por flexión para cada ladrillera son 7.49 kg/cm² en Cerrillo parte alta, 9.51 kg/cm² en Cerrillo parte baja, 9.23 kg/cm² en Santa Bárbara y 8.85 kg/cm² en Rumipampa. Su evaluación se realizó, debido a un alto alabeo que presentan las unidades de albañilería.
 - La ladrillera Cerrillo Parte Baja y Rumipampa tienen mayor densidad (1.57 gr/cm³), por lo tanto tiene un buen comportamiento de resistencia y durabilidad. Sin embargo, no tienen una buena resistencia según la Tabla N° 82 y clasifican como ladrillos tipo II según la norma ITINTEC 331.017.
 - En el ensayo de succión, todas las ladrilleras estudiadas sobrepasan 10 y 20 gr/200cm²/min que indica la norma E.070. Cerrillo parte alta tiene 60.23 gr/200cm²/min, Cerrillo parte baja tiene 50.26 gr/200cm²/min, Santa Bárbara tiene 44.41 gr/200cm²/min y Rumipampa tiene 40.04 gr/200cm²/min. Es por ello que se recomienda que las unidades de albañilería se deben saturar media hora antes de ser asentadas.
 - El ensayo de absorción si cumple solo en tres ladrilleras como son: Cerrillo parte alta con 15.49%, Santa Bárbara con 19.30% y Rumipampa con 14.61%. Con la norma E.070 de no sobrepasar el 22%. Sin embargo, la ladrillera Cerrillo parte baja tiene una absorción de 23.50% lo cual indica que su capacidad de absorción es alta debido a que presenta mayor área de porosidad en su composición.
3. Se determinó las propiedades físico – mecánicas de las unidades de albañilería simple como la resistencia a compresión en pilas para lo cual se concluyó lo siguiente:
- La ladrilleras Cerrillo parte alta presentó una resistencia de 28.27 kg/cm², cerrillo parte baja presentó una resistencia de 32.59 kg/cm², Santa Bárbara presentó una resistencia de 32.11 kg/cm² y Rumipampa presentó una resistencia de 30.45 kg/cm². Concluyendo que ningunas de las ladrilleras en estudio cumplen con la resistencia mínima especificada en la norma E.070 que es de 35 kg/cm² (Ver Tabla N° 88).
4. Se determinó las propiedades físico – mecánicas del mortero como la resistencia a compresión del mortero para lo cual se concluyó lo siguiente:

- La resistencia a compresión del mortero superó a la resistencia para la que fue diseñada que fue de 140 kg/cm² siendo la mezcla elaborada para Cerrillo Parte Alta 141.90 kg/cm², Cerrillo parte baja 146.65 kg/cm², Santa Bárbara 142.73 kg/cm² y Rumipampa 140.43 kg/cm². Este ensayo no clasifica a la unidad de albañilería y sólo se elaboró con fines de controlar la calidad del mortero.
5. En contraste con la hipótesis, se concluye que más del 10% de los valores de cada una de las propiedades físico – mecánicas de las ladrilleras estudiadas (Cerrillo Parte Alta, Cerrillo Parte Baja, Santa Bárbara y Rumipampa) no cumplen con las exigencias mínimas que establece la norma E.070 de albañilería (2006).

RECOMENDACIONES

1. Continuar con los estudios de los materiales con los cuales se fabrican las unidades de albañilería para determinar las proporciones adecuadas y obtener un ladrillo de mejor calidad.
2. Realizar estudios sobre la temperatura adecuada en el proceso de cocción del ladrillo en el horno ya que influye bastante en las propiedades físico mecánico de las unidades de albañilería.
3. Debido a la presencia de muchas ladrilleras artesanales e informales en la provincia de Cajamarca, se recomienda realizar estudios para determinar las propiedades físico – mecánicas de esas ladrilleras y tener una base de datos que pueda ser de utilidad para las personas interesadas en elegir un ladrillera.
4. Hacer de conocimiento público los resultados como prevención en el sector construcción, así mismo hacer de conocimiento a la autoridad local con el fin de que se adopte las medidas correctivas que correspondan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PAREDES Castro, Jonathan. Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. (Título de Ingeniero Civil). Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.
2. BONILLA Mancilla, Dante. Factores de corrección de la resistencia en compresión de prismas de albañilería por efectos de esbeltez. (Título de Ingeniero). Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006.
3. MORANTE Portocarrero, Álvaro. Mejora de la adherencia mortero – ladrillo de concreto. (Título de Ingeniero). Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.
4. AGUIRRE Gaspar, Dionisia. Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central de Junín. (Título de Ingeniero). Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2004.
5. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (Perú). Norma Técnica E.070 Albañilería, 2006. Lima, Perú.
6. Ángel San Bartolomé. (1994). *Construcciones de albañilería comportamiento sísmico y diseño estructural*. Lima, Perú.
7. Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú en los departamentos de Puno, Cajamarca, Trujillo, Lambayeque, Piura, Ayacucho, Lima, Tacna, Arequipa y Cusco. Programa regional, Ministerio del ambiente.
8. Abanto Castillo, F. 2013. *Análisis y Diseño de edificaciones de Albañilería*. Tercera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. San Marcos.
9. Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. *Albañilería Estructural*. Tercera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP.
10. Guía de buenas prácticas ambientales para ladrilleras artesanales.(2009)

11. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (Perú). Norma Técnica 339.613 - Unidades de albañilería - Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. 2005. Lima, Perú.
12. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (Perú). Norma Técnica 339.605 - Unidades de albañilería - Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. 2013. Lima, Perú.
13. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (Perú). Norma Técnica E.070 Albañilería, 2006. Lima, Perú.
14. Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC) (Perú). Norma Técnica E.070 Albañilería, 1978. Lima, Perú.
15. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (Perú). Material predominante en los exteriores de la vivienda. 2007. Lima, Perú.
16. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Riesgo sísmico en el Perú. 2011. Lima, Perú.
17. Parro, Carlos. (2015). Diccionario de Arquitectura y Construcción. Lima, Perú.
18. Búsqueda de imágenes consultado en la página web: <https://www.google.com.pe>, 2015.
19. Mapa de la ubicación de la Provincia de Cajamarca consultado en la página web: www.google.com.pe/maps/place/Cajamarca, 2015.
20. Tipos de ladrillo consultado en la página web: <http://ladrillosdelsur.pe/productos.php>, 2015.

ANEXOS

- Anexo A** Formato de datos.
- Anexo B** Diseño de mezclas para mortero.
- Anexo C** Panel Fotográfico.

Anexo A

Formato de datos

Anexo B

Diseño de mezclas para el mortero

Anexo C: Panel Fotográfico



Foto 1. Medida de la longitud de la unidad.



Foto 2. Medida del ancho de la unidad.



Foto 3. Medida de la altura de la unidad.



Foto 4. Peso natural de la unidad.



Foto 5. Medida del alabeo de la unidad.



Foto 6. Removiendo partículas de la unidad.



Foto 7. Midiendo la mitad de la unidad.



Foto 8. Cortando las unidades por la mitad.



Foto 9. Muestras para compresión.



Foto 10. Muestras refrenadas con yeso.

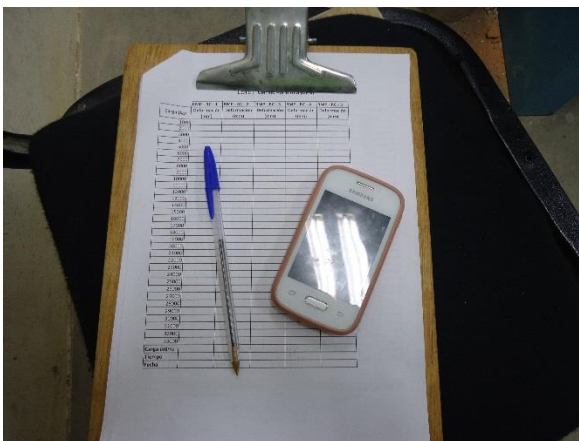


Foto 11. Formato de esfuerzo vs. Deformación.



Foto 12. Deformímetro



Foto 13. Ensayo a compresión.



Foto 14. Falla de la ladrillera CPA.



Foto 15. Falla de la ladrillera CPB.



Foto 16. Falla de la ladrillera RMP.



Foto 17. Falla de la ladrillera SB.



Foto 18. Falla en ensayo a tracción de CPA.



Foto 19. Falla en ensayo a tracción de CPB.



Foto 20. Falla en ensayo a tracción de SB.



Foto 21. Falla en ensayo a tracción en RMP.



Foto 22. Unidades sumergidas por 24 hrs.



Foto 23. Unidades sumergidas en agua caliente.



Foto 24. Unidades a hervir por 5 hrs.



Foto 25. Supervisión de ensayo del asesor.



Foto 26. Habilitación de unidades para pilas.



Foto 27. Materiales para ensayo de pilas.



Foto 28. Construcción de las pilas.



Foto 29. Asentado del ladrillo.



Foto 30. Medida del espesor de la junta.



Foto 31. Verificación la pila nivelada.



Foto 32. Muestra de pilas de la ladrillera CPB.



Foto 33. Cubo de mortero de ladrillera CPA.



Foto 34. Codificación de cada muestra.



Foto 35. Curado de pilas con agua.



Foto 36. Desmolde de cubos de mortero.



Foto 37. Curado de mortero en agua con cal.



Foto 38. Muestras a ensayar a los 28 días.



Foto 39. Máquina de compresión.



Foto 40. Ensayo de pilas de ladrillera CPA.



Foto 41. Pilas listas para ensayar.



Foto 42. Mecanismo de falla de la pila.



Foto 43. Toma de datos del deformímetro.

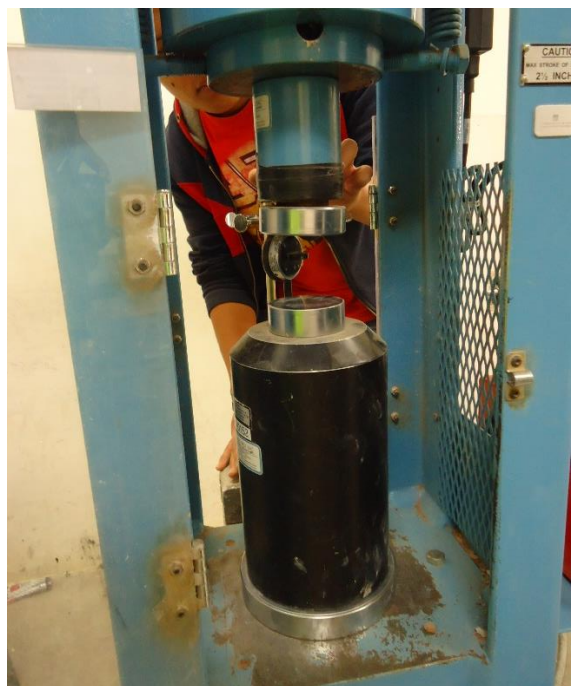


Foto 44. Máquina de compresión de mortero.

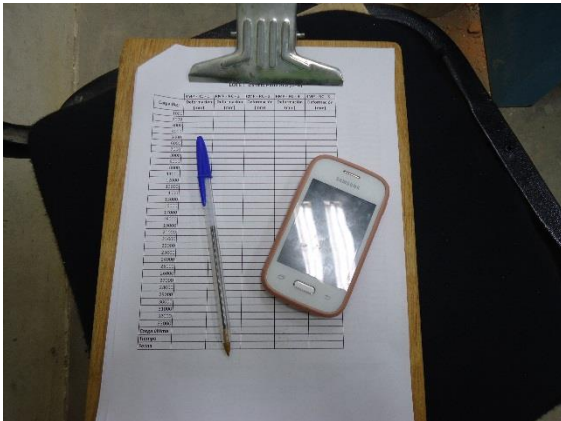


Foto 44. Registro de datos de carga.



Foto 45. Mecanismo de falla del mortero.