

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE
LOS LADRILLOS DE ARCILLA FABRICADOS ARTESANALMENTE
EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
LUIS FERNANDO ANYAYPOMA COLORADO**

ASESOR

M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

CAJAMARCA - PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mi Madre Esperanza Colorado Incil, por su gran amor, protección y guiarme en el camino de la vida, sembrando en mi la humildad y el ánimo de ser profesional.

A mi Padre Lorenzo Anyaypoma Cusquisibán, por su apoyo inquebrantable, demostrando con su ejemplo de trabajo y gratitud, la perseverancia para conseguir el noble ideal de ser profesional.

A Mis hermanos Armando y Saúl, por el apoyo incondicional, comprensión y animarme siempre alcanzar mis metas personales.

A mis amigos y amigas, por sus consejos, amistad y aprecio, el cual han permitido mi crecimiento personal.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la salud y la sabiduría, para lograr alcanzar un peldaño más en mi vida.

A mi Madre, que es mi fortaleza, la que ha permitido culminar el presente trabajo de investigación.

A mi Padre, por su apoyo indismayable, que ha sido el soporte para la realización de la investigación.

A mi asesor de Tesis, M. I. Héctor Albarino Pérez Loayza, por sus sugerencias, revisión y contribución a la realización del presente trabajo de investigación.

A mis amigos por sus sugerencias las cuales han contribuido a mejorar el presente trabajo.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE FOTOS.....	X
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	3
1.5.1. Alcances.....	3
1.5.2. Limitaciones.....	4
1.6. OBJETIVOS.....	4
1.6.1. Objetivo general.....	4
1.6.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	6
2.1.1. Internacionales.....	6
2.1.2. Nacionales.....	8
2.1.3. Locales.....	10
2.2. BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1. Albañilería.....	12
2.2.1.1. Tipos de albañilería.....	12
A. Por su función estructural.....	12
a. Muros portantes.....	12
b. Muros no portantes.....	13
B. Por la distribución de refuerzo.....	13
a. Muros no reforzados o albañilería simple.....	13
b. Muros reforzados.....	14

b.1. Muros armados	14
b.2. Muros laminares	15
b.3. Muros confinado	15
2.2.1.2. Componentes de albañilería	18
A. Unidad de albañilería	18
B. Tipos de ladrillos	19
a. Unidades sólidas - macizas	19
b. Unidades huecas	19
c. Unidades tubulares o pandereta	20
d. Aplicación estructural en tipos de unidades de albañilería	20
C. Unidad de albañilería	21
a. Materia prima	21
b. Clasificación de los ladrillos de arcilla	21
c. Fabricación	22
D. Propiedades físicas y mecánicas	23
D.1. Variabilidad dimensional	23
D.2. Alabeo	24
D.3. Absorción	25
D.4. Succión	25
D.5. Resistencia a la compresión	26
D.5.1. Módulo de elasticidad	27
E. Clasificación del ladrillo estructuralmente	28
F. Limitaciones en su aplicación	29
G. Mortero	30
a. Componentes del mortero	30
a.1. Cemento	30
a.2. Agregado fino	30
a.3. Agua	31
b. Ensayo a la compresión	31
c. Clasificación	31
2.2.1.3. Albañilería simple	32
A. Especificaciones generales para el asentado de ladrillo	32
B. Modelaje especímenes y ensayos	34
C. Discreciones de falla	35
D. Ensayo de prismas - pilas	35
E. Ensayo de muretes	38

2.2.1.4. Comportamiento sísmico	40
2.2.1.5. Incidencia de las propiedades mecánicas del ladrillo y mortero en la resistencia de muros	43
2.2.3. CONCEPTOS BASICOS DE ESTADISTICA	43
2.2.3.1. Media	43
2.2.3.2. Varianza	44
2.2.3.3. Desviación estándar	44
2.2.3.4. Coeficiente de variación	45
2.2.4. MUESTREO	45
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS	46
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	47
3.1.1. MATERIALES	47
3.1.2. EQUIPOS	48
3.2. METODOLOGIA	48
3.2.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	48
A. Localización de la investigación	48
B. Periodo de investigación	49
C. Tipo de investigación	50
D. Población	50
E. Muestra	50
F. Técnica del muestreo	50
G. Instrumentos de recolección de datos	50
H. Procesamiento y análisis de datos	50
3.2.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION	51
A. Ensayo del agregado fino	51
B. Ensayos clasificatorios del ladrillo	51
a. Variación dimensional	51
b. Alabeo	52
c. Compresión simple	52
c.1. Cálculo del módulo de elasticidad (E_b) en ladrillos de arcilla	53
C. Ensayos no clasificados de ladrillo	54
a. Ensayos de succión	54
b. Ensayos de absorción	55
D. Prismas de albañilería	55
a. Pilas de albañilería	55
a.1. Procedimientos de construcción	55

a.2. Montaje e instrumentación.....	56
a.3. Cálculo de la resistencia a compresión axial.	56
a.4. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas (Em).....	57
b. Muretes	58
b.1. Procedimiento de construcción.....	58
b.2. Peso volumétrico de la albañilería.....	59
b.3. Instrumentación y montaje.....	59
b.4. Calculo de la resistencia al corte en muretes.....	59
b.5. Calculo del Módulo de corte (Gm)	60
E.Diseño analítico del mortero.....	61
a. Resistencia a la compresión.....	61
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ENSAYADAS.....	63
4.2 .ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO.	63
4.2.1. Variación dimensional.....	63
4.2.2. Alabeo	64
4.2.3. Compresión simple.....	64
A. Módulo de elasticidad (Eb).....	65
4.3. ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DE LADRILLO	66
4.3.1. Ensayo de succión	66
4.3.2. Ensayo de absorción	66
4.4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.....	67
4.4.1. Pilas	67
A. Ensayo a la resistencia a compresión Axial.....	67
B. Módulo de elasticidad en Pilas.....	68
4.4.2. Muretes	68
A. Calculo del peso volumétrico de los muretes.	68
B. Ensayo a la resistencia al corte de los muretes.....	68
C. Módulo de corte en muretes (Gm)	69
D. Comparación de las resistencias de pilas y muretes.....	69
4.5. MORTERO.....	71
4.5.1. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero.....	71
4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	71
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. CONCLUSIONES.....	73
5.2. RECOMENDACIONES.....	75

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXOS	78
Anexo A. Procesamientos de datos	79
1. Cálculo de la variación dimensional del ladrillo.	79
2. Cálculo del alabeo del ladrillo.	81
3. Cálculo de la resistencia a compresión del ladrillo.	83
3.1. Cálculo del módulo de elasticidad.	85
4. Cálculo de la succión del ladrillo.	89
5. Cálculo de la absorción del ladrillo.	91
6. Cálculo de la resistencia a compresión en pilas (f'm).	93
6.1. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas.	94
7. Cálculo de la resistencia al corte en muretes (v'm).	96
7.1. Cálculo del módulo de corte en muretes.	97
8. Mortero.	103
8.1. Propiedades del agregado fino.	103
8.2. Diseño analítico del mortero.	107
8.3. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero.	108
Anexo B. Panel fotográficos	109
Hoja técnica del cemento tipo I	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	20
Tabla. 2 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	29
Tabla. 3 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	29
Tabla. 4 Granulometría de la arena fina	31
Tabla. 5 Tipos de mortero, NTP E-070	32
Tabla. 6 Tipos de Mortero, ASTM C-270	32
Tabla. 7 Factores de corrección de f'm por esbeltez.	38
Tabla. 8 Características de las muestras de los ladrillos artesanales de Cajabamba	63
Tabla. 9 Resultados del ensayo de variación dimensional.	63
Tabla. 10 Resultados del ensayo de alabeo.	64
Tabla. 11 Resultados de los ensayos de compresión	65
Tabla. 12 Resultados de módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal	65
Tabla. 13 Resultados del ensayo de Succión.	66
Tabla. 14 Resultados de ensayo de absorción de ladrillo	66
Tabla. 15 Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo ..	67

Tabla. 16 Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo.....	68
Tabla. 17 Resultados de ensayos a la resistencia de corte de los muretes.	69
Tabla. 18 Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos del $f'm$, E_m y G_m	70
Tabla. 19 Análisis de resistencia al corte.....	70
Tabla. 20 Resultados de los ensayos de compresión del mortero.	71
Tabla. 21 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Romero	79
Tabla. 22 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Córdoba	80
Tabla. 23 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Romero.	81
Tabla. 24 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Córdoba	82
Tabla. 25 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Romero.....	83
Tabla. 26 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Córdoba.....	84
Tabla. 27 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Romero.....	85
Tabla. 28 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Córdoba.....	87
Tabla. 29 Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo	89
Tabla. 30 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Romero	89
Tabla. 31 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Córdoba.....	90
Tabla. 32 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Romero	91
Tabla. 33 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Córdoba	92
Tabla. 34 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la ladrillera Romero	93
Tabla. 35 Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de la muestra de la ladrillera Córdoba	93
Tabla. 36 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Romero	94
Tabla. 37 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Córdoba	95
Tabla. 38 Calculo de los módulos de elasticidad de las unidades de ladrillo artesanal	96
Tabla. 39 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Romero	96
Tabla. 40 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba	96
Tabla. 41 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Romero.....	97
Tabla. 42 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Córdoba.....	100

Tabla. 43 Cálculo del módulo de corte del ensayo en muretes de ladrillo.....	103
Tabla. 44 Calculo resistencia a la compresión de las probetas de mortero.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Muro portante de albañilería.....	13
Fig. 2 Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).....	14
Fig. 3 Muro con refuerzo horizontal y vertical.....	14
Fig. 4 Muro laminar o sándwich.....	15
Fig. 5 Muro Confinado.....	16
Fig. 6 Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A. 1994).....	17
Fig. 7 Unidades de albañilería sólida o maciza.....	19
Fig. 8 Unidades de albañilería huecas.....	19
Fig. 9 Unidades de albañilería tubulares o pandereta.....	20
Fig. 10 Unidades de arcilla.....	21
Fig. 11 Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.....	23
Fig. 12 Variabilidad dimensional del ladrillo.....	24
Fig. 13 Convexidad y concavidad del ladrillo.....	24
Fig. 14 Absorción del ladrillo.....	25
Fig. 15 Succión del ladrillo.....	26
Fig. 16 Ensayo a la compresión del ladrillo.....	27
Fig. 17 Curvas normalizadas esfuerzo de compresión (f_b) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.....	28
Fig. 18 Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).....	36
Fig. 19 Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).....	37
Fig. 20 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).....	39
Fig. 21 Esquema de deformación del espécimen (murete) (Gallegos, H. y Casabonne, 2005).....	40
Fig. 22 Gráfica para el cálculo experimental de R_d . (San Bartolomé, A. 1994).....	41
Fig. 23 Mapa de localización de la provincia de Cajabamba.....	47
Fig. 24 Fotografía satelital de la ubicación de estudio. (Fuente Google Earth).....	49

ÍNDICE DE FOTOS

Foto. 1 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Santiago Romero	109
Foto. 2 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Francisco Córdoba	109
Foto. 3 Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería	109
Foto. 4 Medición del alabeo.....	110
Foto. 5 Ensayo a compresión de unidades de albañilería.....	110
Foto. 6 Ladrillo soportado por varillas –ensayo de succión.....	110
Foto. 7 Registro del peso después de ser sumergidos en agua- ensayo absorción.....	111
Foto. 8 Construcción de las pilas.....	111
Foto. 9 Falla típica de las pilas de ladrillo	111
Foto. 10 Control de la junta del murete.....	112
Foto. 11 Falla típica de los muretes de ladrillo de arcilla.....	112
Foto. 12 Ensayo del peso específico de la arena	112
Foto. 13 Ensayo de granulometría.....	113
Foto. 14 Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino	113
Foto. 15 Ensayo de peso unitario compactado seco del agregado fino	113
Foto. 16 Falla en el mortero.....	114
Foto. 17 Comprobación del contenido de aire en la mezcla en la olla de Washington	114

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico. 1 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Romero	86
Grafico. 2 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Córdoba	88
Grafico. 3 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Romero	94
Grafico. 4 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Córdoba	95
Grafico. 5 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Romero	98
Grafico. 6 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Romero	99
Grafico. 7 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba	101
Grafico. 8 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba	102

RESUMEN

Los últimos terremotos suscitados en Nazca, Pisco, Ica y Chile, ha demostrado cuán importante son las edificaciones de albañilería en la zonas de alto riesgo sísmico. En la ciudad de Cajabamba capital de la provincia de Cajabamba región Cajamarca el crecimiento demográfico, está generando un incremento de la demanda de viviendas de albañilería; siendo así, las edificaciones de albañilería. El ladrillo se ha convertido en la mejor alternativa, en la construcción de edificaciones, donde los ladrillos elaborados de manera artesanal son más usados que los ladrillos industriales, lo que nos conlleva a preguntar si estos ladrillos cumplen o no con la norma E – 070. Esto ha motivado a estudiar y conocer el comportamiento de la unidad de albañilería en diferentes ensayos.

En El presente trabajo de investigación se seleccionó 30 unidades, 3 pilas y 2 muretes de las dos ladrillera, se realizaron ensayos clasificatorios (variación dimensional, alabeo, compresión simple) y ensayos no clasificatorios (succión, absorción), ensayos de pilas y muretes, ensayos de mortero (compresión axial), determinándose la resistencia de los ladrillos (f_b), resistencia de pilas (f_m), resistencia al corte (v_m) y los módulos de elasticidad de ladrillo (E_b), pilas (E_m) y de módulo de corte (G_m), lo cual ha clasificado al ladrillo artesanal como tipo I de ambas ladrilleras de acuerdo a la norma E - 070, se pudo concluir que los dos tipos de ladrillo no cumplieron con las especificaciones proporcionados por el fabricante, pero calificaron como unidades sólidas aptas para ser empleadas en la construcción de muros portantes de acuerdo a la norma E – 070.

Palabras clave: Ladrillo, muretes, pilas, albañilería, propiedades, resistencia

ABSTRACT

The recent earthquakes that had arisen in Nazca, Pisco, Ica, and Chile, has shown how important are the buildings of masonry in the areas of high seismic risk. In the capital city of Cajabamba province of Cajabamba region Cajamarca population growth, is generating an increase in the demand for housing of masonry; Thus, the buildings of masonry. The brick has become the best alternative, in the construction of buildings, where bricks made using traditional methods are used as industrial bricks, which leads us to ask whether these bricks meet or not with the standard E - 070. This has motivated to study and know the behavior of the unit of walling in different trials.

The present research 30 units, 3 batteries and 2 low walls of the two bricked ^{Wax} ~~is~~ selected; qualifying tests (dimensional variation, warping, simple compression) and not qualifying tests (suction, absorption) batteries and death assays, assays mortar (axial compression), determining the resistance of the bricks (F'B) resistance were conducted battery (f'm), shear (v'm) and the modulus of elasticity of brick (Eb), batteries (Em) and shear modulus (Gm), which has classified as type I handmade bricks both brick according to standard E - 070, it was concluded that the two types of brick did not meet the specifications provided by the manufacturer, but rated as suitable solid units to be used in the construction of load-bearing walls according to the standard E - 070.

Keywords: Brick, low walls, piles, masonry, properties, resistance

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las edificaciones de albañilería según su función estructural que cumplan, pueden ser construcciones de muros portantes y muros no portantes; dichos muros deben resistir a las solicitaciones provenientes de las acciones normales como peso propio, sobrecargas de uso y acciones eventuales, como los sismos. Estos muros son construidos con unidades de albañilería de baja calidad en su fabricación, con bajo control en el espesor de la junta del mortero e inadecuado proceso constructivo, lo cual disminuye la capacidad de la estructura a las acciones de las fuerzas estáticas y dinámicas.

La región de Cajamarca se encuentra en una zona de actividad sísmica alta (zona 3, según la N.T.P. E-030), existiendo gran cantidad de edificaciones de albañilería, lo que hace que éstas sean vulnerables a los efectos de sismo.

La ciudad de Cajabamba, capital de la provincia de Cajabamba, por el crecimiento demográfico ha generado un incremento en la demanda de viviendas de albañilería, las cuales son construidas con ladrillos de arcilla producidos en la zona, debido a que es la principal alternativa de construcción.

La calidad de los ladrillos de arcilla depende de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección del material, la correcta determinación de la dosificación, una perfecta elaboración en lo referente al mezclado, moldeado, secado y cocción de este. Condiciones que no se cumplen adecuadamente en las ladrilleras de la ciudad de Cajabamba porque los productores no cuentan con el conocimiento de las exigencias mínimas de cada una de estas etapas de proceso de producción.

Para mejorar las características físicas y mecánicas de las unidades de albañilería producidas en la ciudad de Cajabamba, es necesario estudiar las unidades de albañilería y clasificarlas según las normas E-070. De aquí que la presente investigación se centra en evaluar las características físicas (variación dimensional, alabeo, absorción) y características mecánicas (resistencia a la compresión) de los ladrillos de arcilla fabricados en la ciudad de Cajabamba capital de la provincia de Cajabamba – Cajamarca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba?

1.3. HIPÓTESIS GENERAL

Las características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba están dentro del rango establecido en la norma técnica E.070.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación busca clasificar el ladrillo con fines estructurales de acuerdo a la norma E-070, de manera que los constructores y proyectistas dispongan de información sobre la calidad, con la finalidad de tomar decisiones en su uso.

Además la investigación contribuye a mejorar la fabricación del ladrillo y sugerir a los productores iniciativas que conlleven a obtener ladrillos de mejor calidad, los cuales cumplan con las normas de albañilería y sismo resistentes.

Se pretende establecer una línea de investigación en la facultad de ingeniería con el propósito que permita una secuencia en la investigación de la albañilería estructural y así contribuir a mejorar de manera continua la obtención de calidad del ladrillo.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

La investigación tiene un alcance referencial para los profesionales que se dedican a la construcción de edificaciones, y en especial para los que desarrollan estudios y ejecutan obras en la ciudad de Cajabamba, en la que se ha podido observar la necesidad de contar con información de la calidad de ladrillo.

1.5.2. Limitaciones

La presente investigación se limitó solo a estudiar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de la ciudad de Cajabamba.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

- Estudiar las características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físicas: variación dimensional, alabeo y absorción de los ladrillos de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba.
- Determinar las características mecánicas: resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba.
- Determinar la resistencia a compresión de pilas y muretes
- Clasificar los ladrillos fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba de acuerdo a la norma técnica E.070.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO



2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Bianucci, MA. 2009. Ladrillo - orígenes y desarrollo. Argentina, FAU-UNNE. 39 p.

Se analizó el proceso de fabricación del ladrillo común, investigando la materia prima, su composición y el comportamiento de la misma. Se menciona que dentro de los materiales de construcción el ladrillo común está considerado como “piedra artificial”, puesto que se obtiene por un proceso de cocción de arcillas y otros componentes naturales, que dependen del lugar donde se los encuentra. En Chaco, Argentina, los sedimentos tienen su origen en que en su creciente y bajante de los ríos de la región, por lo que es bastante común en cañadones secos encontrar arcillas muy ricas en óxido de hierro que le da al ladrillo esa coloración rojiza, luego de la cocción. Es común también que entre otros componentes se encuentre el carbonato de calcio, (tosca o caliches) que si las partículas son grandes luego de la cocción se convierte en óxido de calcio, (cal) que al hidratarse con agua produce oquedades o roturas en el material, que desmerecen su calidad. De dicho estudio se concluyó que el tamaño de los ladrillos comunes que se fabrican en Argentina, es de 26,5 a 27 cm. de largo, por 12,5 a 13 cm. de ancho, por 6 cm. a 7 cm. de espesor. Cuando el ladrillo es de primera calidad, bien cocido, (campana por el sonido claro), los ensayos de compresión en probetas, llegan a una resistencia de 90 Kg/cm² a la rotura. Lo importante, de todas maneras es que sus medidas estén relacionadas entre sí para posibilitar su uso: si (e) es el espesor, (a) es el ancho y (l) es el largo, la relación será, $(a) = 2(e) + 1$ junta, $(l) = 2(a) + 1$ junta.

Afanador, N; Guerrero, G; Monroy, R. 2012. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Bogotá, UMNG. 15 p.

En dicha investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos cerámicos fabricados a mano en el municipio de Ocaña, Bogotá, Colombia, aplicando en primera instancia ensayos de caracterización física de la arcilla empleada como materia prima, luego han realizado pruebas de control de calidad no destructivas y destructivas de los ladrillos de mampostería que se

seleccionaron entre los diferentes chircales (fábricas) o unidades productivas del sector, utilizando para tal fin, la norma técnica Colombiana NTC-4017, "Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla", que permitieron conocer las características y propiedades de los materiales que integran los elementos estructurales, analizando principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, como parámetros que influyen en forma directa en la rigidez de la edificación, concluyendo que: De acuerdo con los análisis de granulometría por hidrómetro y análisis granulométrico por tamizado por vía seca realizados al material arcilloso, se caracteriza por poseer un alto porcentaje de fracción arenosa y limos equivalente al 81% y una pobre fracción arcillosa equivalente al 19% del total de su composición, es decir, son clasificadas como arcillas arenosas inorgánicas con media plasticidad, con índice de plasticidad mayor al 10%, es decir, son arcillas que permiten el conformado y compactación de las piezas de mampostería; los ladrillos producidos en Ocaña, no cumplen las resistencias establecidas para Colombia; la TIA promedio es de 0.387 g/cm²/mín, indica que las piezas de ladrillos deberán tener un prehumedecimiento mínimo de 24 horas y la AF promedio es de 17.41%, apropiado para muros interiores, pero excede en 4.41% el valor máximo para su utilización en muros exteriores porque su absorción máxima permitida es de 13%; no se encontró una relación que permita estimar una expresión entre la TIA y la resistencia a la compresión del ladrillo macizo de arcilla cocida, como también entre la AF y la resistencia a la compresión del ladrillo, pues sus coeficientes de correlación (R) fueron de 0.032 y 0.037 respectivamente, resultados diferentes a los obtenidos en otras investigaciones donde para f'_{cu} Vs. TIA el $R = -0.77$ y para f'_{cu} Vs. AF es $R = -0.24$. Estos resultados pueden ser producto de la variabilidad del proceso de cocción, puesto que no se puede definir con claridad los ciclos de cocción empleados por los fabricantes en la producción de ladrillos tolete macizos, tomando como referencia que la temperatura promedio no alcanza los 850 °C en la mejor posición dentro del horno, pues hay zonas donde la temperatura escasamente alcanza los 250 °C; y, la resistencia nominal a la compresión de muros en ladrillo macizos de arcilla cocida tiene valores que oscilan entre 0.8 hasta 2.4 MPa y un valor promedio para el municipio de Ocaña de 1.44 MPa lo cual es bajo, si lo comparamos con la especificación de resistencia de 14 MPa para ladrillos

macizos y su restricción de usar sólo el 80% de su resistencia, es decir, una resistencia a la compresión de la mampostería de 8.4 MPa, lo cual indica que en Ocaña, la resistencia de la mampostería a la compresión está entre el 9.5 al 28.6% del mínimo esperado, representando al menos, un alto grado de vulnerabilidad a la compresión en muros de ladrillo tolete macizo, usados principalmente en viviendas construidas con el sistema de resistencia sísmica de mampostería confinada. Esto indica la necesidad de implementar hornos comunitarios que garanticen la temperatura de sintetización del material, un mejoramiento en el proceso de producción de las piezas de mampostería ya sea mediante extrucción u otro medio, y el diseño de mezclas de arcilla que permitan un mejoramiento de las propiedades mecánicas.

2.1.2. Nacionales

San Bartolomé, A. 1980. Comportamiento de elementos de albañilería en ensayos de compresión diagonal y corte directo. Lima, PUCP.

En este Proyecto se investigó, principalmente, el efecto del esfuerzo de confinamiento (σ) sobre la resistencia al corte (v); para lo cual, se realizaron ensayos de corte directo sobre prismas de tres hiladas y de compresión diagonal en muretes cuadrados. Los especímenes fueron construidos empleando ladrillo King Kong industrial ($f'_b = 160 \text{ kg/cm}^2$) y mortero 1:4, Los resultados promedios (en Kg/cm^2) proporcionaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Corte Directo:} \quad v = 1.16 + 0.94 \sigma$$

$$\text{Compresión Diagonal:} \quad v = 4.88 + 0.33 \sigma$$

Como conclusión se obtuvo que el ensayo de corte directo (con alta dispersión de resultados: 40%) no refleja el tipo de falla de los muros reales y sus resultados están influenciados por la técnica de ensayo impuesta. Adicionalmente, mediante ensayos de compresión diagonal en muretes, se investigaron otras variables, llegándose a las siguientes conclusiones: Que al emplear un espesor de 2 cm en la junta de mortero, disminuye la resistencia al corte en 25% en relación a utilizar un espesor de 1 cm; el uso de arena fina en el mortero disminuye la resistencia al corte en 40% en relación a emplear arena gruesa; el asentar ladrillos secos (con elevada succión en su estado natural) disminuye la resistencia al corte hasta en 50% en relación a emplear ladrillos regados ("tratados") con

agua un día antes de asentarlos; la compactación del mortero en cada uno de los orificios de la unidad perforada, creó un anclaje mecánico (llaves de corte o engrape mecánico) entre las hiladas que elevó la resistencia al corte en 45%.

Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a compresión axial. Lima, PUCP.

En esta investigación se ensayaron a compresión axial 60 pilas de albañilería, construidas con unidades de arcilla y de concreto, con el objeto de determinar experimentalmente los coeficientes de corrección aplicables sobre la resistencia característica f_m en pilas que presentan esbelteces distintas al valor nominal (5 para SENCICO, 2004; y, para INDECOPI, 2003). Los resultados indicaron la curva de tendencia del coeficiente de corrección (CC) por esbeltez de las pilas de albañilería ensayadas a compresión axial, para 3 tipos distintos de unidades, mostró una buena aproximación hacia los valores de CC proporcionados por SENCICO, 2004; mientras que los valores especificados por INDECOPI, 2003 (iguales a los indicados por ASTM C1314, 2003) se alejaron más de esta curva. Por tanto, es preferible emplear los valores de CC indicados por SENCICO, 2004, que son los mismos a los dados por ININVI, 1982. INDECOPI, 2003 (al igual que ASTM C 1314, 2003), utiliza una esbeltez nominal $E = 2$ (donde $CC = 1$), que corresponde aproximadamente a una pila compuesta por 2 ladrillos, mientras que la esbeltez estándar para SENCICO, 2004, es $E = 5$; habiéndose comprobado experimentalmente que los valores de CC son muy sensibles para esbelteces menores que 3, resulta aconsejable que la esbeltez estándar sea la especificada por SENCICO, 2004 y que las pilas estén compuestas por lo menos por tres unidades de albañilería; las pilas hechas con ladrillos de concreto industrial (KKC) mostraron resultados incoherentes, obteniéndose mayor resistencia a compresión en las pilas más esbeltas. Por tanto, es necesario continuar la investigación para este tipo de unidad, esta vez construyendo por lo menos 10 pilas por cada esbeltez, para analizar si la inconsistencia puede deberse a las ranuras que muestra esta unidad.

Ángles, P. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.

En esta tesis se realizaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros con las mismas características, diferenciándolos en el tipo de ladrillos. Un muro fue construido con ladrillo de concreto vibrado Tipo A y el otro con ladrillos de arcilla cocida. De la investigación realizada se puede observar que, la rigidez lateral elástica experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 19.87 ton/mm, fue mayor en 32% que la rigidez lateral del muro de ladrillos de arcilla.

Esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto, así mismo la resistencia a tracción por flexión experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 11.14 ton, fue mayor en 12% que la resistencia a tracción del muro de ladrillos de arcilla, esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto y la resistencia al agrietamiento diagonal experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 16.07 ton, fue menor en 7% que la resistencia al agrietamiento del muro de ladrillos de arcilla, se debió a que mientras que la albañilería con ladrillos de concreto falla escalonadamente a través de las juntas, la de arcilla lo hace cortando los ladrillos; del mismo modo explica que la carga máxima experimental soportada por el muro de ladrillos de concreto fue de 22.09 ton. Este valor fue similar a la carga máxima soportada por el muro de ladrillos de arcilla, teniendo en cuenta que ambos muros tuvieron el mismo refuerzo y las propiedades de la albañilería fueron casi iguales.

2.1.3. Locales

Mosqueira, J. y Díaz, M. 1984. Ensayos de albañilería utilizando ladrillos de arcilla cocida. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC. 194 p.

En la dicha investigación realizaron estudios de la propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong elaborado artesanalmente por la fábrica del señor Segundo Romero Llanos, ubicado en el centro poblado el Cerrillo, Baños del Inca, Cajamarca, a la vez ejecutaron ensayos de pilas y bloques; llegando a las siguientes conclusiones: La resistencia del mortero por tanda ha variado, pese a que se empleó el mismo albañil y las mismas proporciones de los componentes, debido a la cantidad de agua no fue la misma, pues está aplicada buscando la

manejabilidad, plasticidad y trabajabilidad del mortero, según criterio del albañil; la resistencia de los ladrillos a la compresión y flexión fue relativamente baja, a pesar de ser de la misma hornada, porque las unidades presentaban diferente concavidad, convexidad, agrietamientos, porosidad y dimensiones; los ensayos de compresión diagonal, en pilas y muretes aproximadamente cuadrados y no muy pequeños, parece ser bastante representativo de los comportamientos sísmicos típicos observados en muros de edificaciones de albañilería confinada, sometidos a acciones en su plano.

XIII Congreso Nacional y I Congreso internacional de estudiantes de ingeniería Civil (2005, Cajamarca, Perú). 2005. Diagnóstico de vulnerabilidad de viviendas de albañilería confinada en la ciudad de Cajamarca. Ponencia. 10 p.

Realizaron un estudio estadístico de 50 viviendas de albañilería confinada ubicadas en diferentes zonas de la ciudad de Cajamarca, recopilando información acerca de ubicación, dirección técnica en la construcción y en el diseño, tipo de terreno, errores constructivos, calidad de materiales y mano de obra empleada; concluyendo que la mayoría de viviendas de albañilería confinada son autoconstruidas, presentando grandes deficiencias estructurales y de construcción, lo que hace más vulnerables a efectos del sismo, así mismo indican que el ladrillo artesanal fabricado en el distrito de Baños del Inca, carece de supervisión técnica, el cual no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma E-070.

Fernández, K. 2010. Estudio de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Barbará – Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, UNC. 188 p.

En dicha investigación se realizó estudios de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo del centro poblado Menor Santa Bárbara, Cajamarca. Para ello se ha determinado la composición mineralógica cuantitativa de cada una de las muestras provenientes de seis fábricas de ladrillo de la zona en base a los datos obtenidos en el análisis químico. Concluyendo que la materia prima tal como viene siendo utilizada (arcilla) no alcanza los niveles requeridos en esta industria lo que ocasiona que los ladrillos alcancen especialmente baja resistencia a la compresión.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Albañilería

Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (Norma técnica E.070)

2.2.1.1. Tipos de albañilería

A. Por su función estructural

a. Muros portantes

Son las paredes de una edificación que poseen función estructural; es decir, aquellas que soportan otros elementos estructurales del edificio, como arcos, bóvedas, vigas o viguetas de forjados o de la cubierta.

Construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical

Para la construcción de los muros portantes se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Debe tener una sección transversal preferentemente simétrica.
- Continuidad vertical hasta la cimentación.
- Una longitud mayor o igual a 1,20 m para ser considerados como contribuyentes en la resistencia a las fuerzas horizontales.
- Longitudes preferentemente uniformes en cada dirección.
- Juntas de control para evitar movimientos relativos debidos a contracciones, dilataciones y asentamientos diferenciales.
- La distancia máxima entre juntas de control es de 8 m, en el caso de muros con unidades de concreto y de 25 m en el caso de muros con unidades de arcilla.

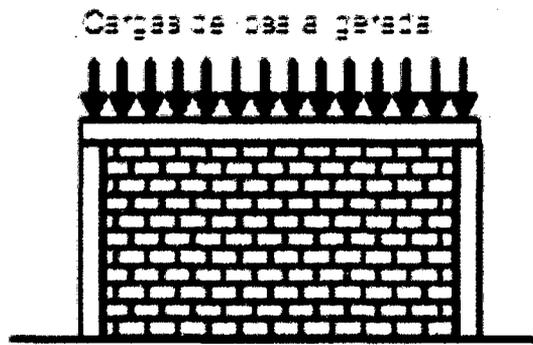


Fig. 1 Muro portante de albañilería

b. Muros no portantes

Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos, los tabiques y los cercos (NTP E-070). Estos muros deben diseñarse básicamente ante cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje. En nuestro medio, los tabiques son generalmente hechos de albañilería, esto se debe a las buenas propiedades térmicas, acústicas e incombustibles de la albañilería.

B. Por la distribución de refuerzo

a. Muros no reforzados o albañilería simple

Son aquellos muros que carecen de refuerzo; o que teniéndolo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que debe tener todo muro reforzado. De acuerdo a la norma E-070, su uso está limitado a construcciones de un piso; sin embargo, en Cajabamba existen muchas viviendas de albañilería no reforzada, incluso de cuatro niveles, ubicados sobre suelos de mala calidad o en ladera, no conociéndose su comportamiento ante un sismo moderado o severo.

Aunque la norma E-070 no lo indique, es preferible que los muros no reforzados estén ubicados sobre suelos de buena calidad, ya que la albañilería es muy frágil ante los asentamientos diferenciales.

En realidad la resistencia al corte (ver en la fig. 2) y la rigidez en el plano de los muros no reforzados son comparables con las correspondientes a los muros reforzados; pero debido al carácter de falla frágil que tienen los

muros no reforzados (por no existir refuerzo que controle el tamaño de las grietas), la norma adopta factores de seguridad para los muros no reforzados iguales al doble de los correspondientes a los reforzados.

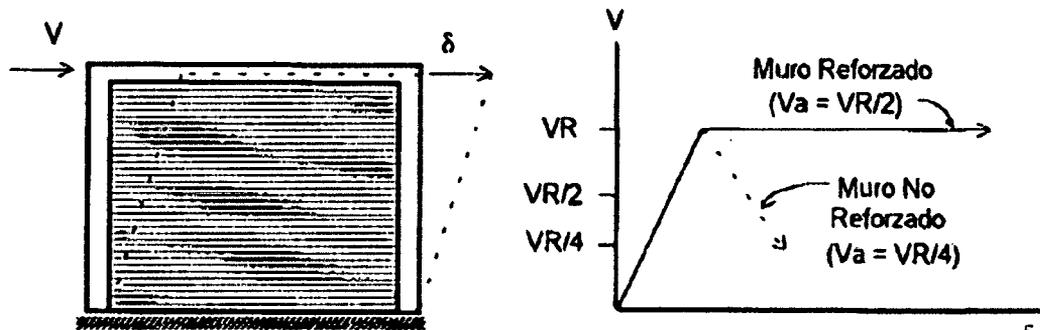


Fig. 2 Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).

b. Muros reforzados

b.1. Muros armados

Los muros armados se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la albañilería. Este refuerzo está generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como de su longitud (refuerzo vertical), (fig.3).

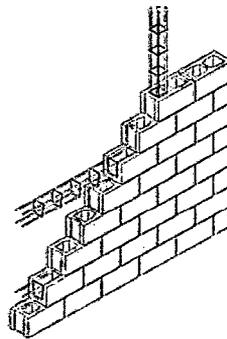


Fig. 3 Muro con refuerzo horizontal y vertical.

Estos muros requieren de la fabricación de unidades especiales, con alveolos donde se pueda colocar el refuerzo vertical; en tanto que dependiendo del diámetro del refuerzo horizontal, éste se coloca en los canales de la unidad (cuando el diámetro es mayor de 1/4"), o en la junta horizontal (cuando el diámetro es menor o igual a 1/4". El diámetro del refuerzo horizontal depende de la magnitud de la fuerza cortante que tiene que ser soportada íntegramente por el acero (San Bartolomé, A. 1994).

Los requisitos mínimos que debe cumplir un muro armado lo establece la norma E-070, en su artículo 28. (Reglamento nacional de edificaciones E-070, 2013).

b.2. Muros laminares

Son muros construidos por una placa delgada de concreto, con un espesor de 1 a 4 pulgadas, usando concreto grout o normal, reforzado con una malla de acero central, y por 2 muros de albañilería simple que sirven como encofrados de la placa (fig. 4).

Debido a la adherencia que se genera entre el concreto y los muros de albañilería, así como por el refuerzo transversal que se emplea para la conexión de los dos muros, se logra una integración de todo el sistema.

Sin embargo, en la investigación experimental realizada en el Perú por el Ing. H. Gallegos, utilizando ladrillos sílice-calcáreos, se observó un buen comportamiento elástico del muro laminar, con una elevada rigidez lateral y resistencia al corte; pero después de producirse el agrietamiento diagonal de la placa, ocurrió una fuerte degradación de resistencia y rigidez (falla frágil), debido principalmente a que los muros de albañilería se separaron de la placa, "soplándose" (San Bartolomé, A. 1994).

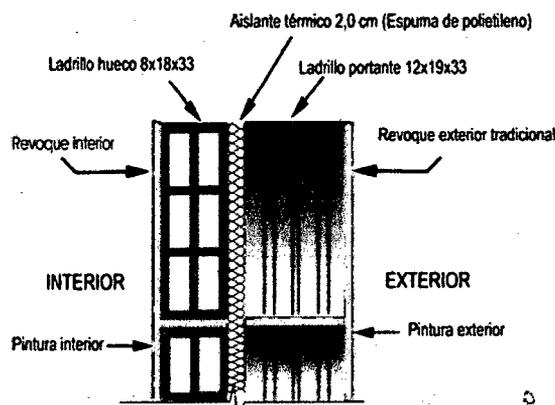


Fig. 4 Muro laminar o sándwich.

b.3. Muros confinado

Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi todo el Perú para la construcción de viviendas de hasta 4 pisos. La albañilería confinada se caracteriza por estar constituida por un muro de albañilería

simple enmarcado por una cadena de concreto armado, vaciada con posterioridad a la construcción del muro. Generalmente, se emplea una conexión dentada entre la albañilería y las columnas; esta conexión es más bien una tradición peruana, puesto que en Chile se utiliza una conexión prácticamente a ras, que tuvo un buen comportamiento en el terremoto de 1985.

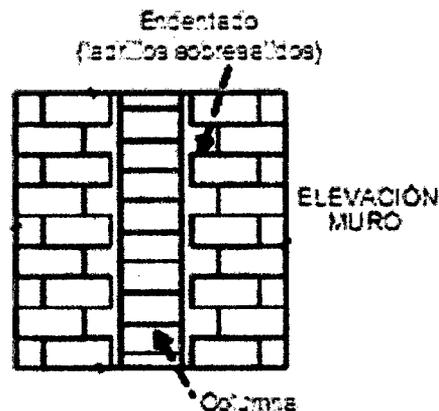


Fig. 5 Muro Confinado

Los requisitos básicos que señala la norma E-070, para que un muro se considere confinado son:

- Que quede enmarcado en sus cuatro lados por elementos de concreto armado verticales (columnas) y horizontales (vigas soleras), aceptándose la cimentación de concreto como elemento de confinamiento horizontal para el caso de los muros ubicados en el primer piso.
- Que la distancia máxima centro a centro entre las columnas de confinamiento sea dos veces la distancia entre los elementos horizontales de refuerzo y no mayor de 5 m. De cumplirse esta condición, así como de emplearse el espesor mínimo especificado en el artículo 19.1.a de la norma E-070, la albañilería no necesitará ser diseñada ante acciones sísmicas ortogonales a su plano, excepto cuando exista excentricidad de la carga vertical, (fig. 6).

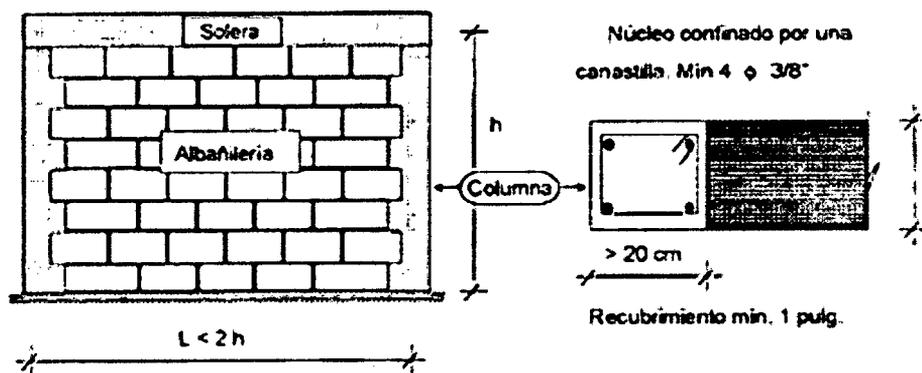


Fig. 6 Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado (San Bartolomé, A. 1994).

- Se utilizará unidades de albañilería de acuerdo a lo especificado en el artículo 5.3 de la norma E-070.
- La conexión columna-albañilería podrá ser dentada o a ras: en el caso de emplearse una conexión dentada, la longitud de la unidad saliente no excederá de 5 cm y deberá limpiarse de los desperdicios de mortero y partículas sueltas antes de vaciar el concreto de la columna de confinamiento, en el caso de emplearse una conexión a ras, deberá adicionarse “chicotes” o “mechas” de anclaje (salvo que exista refuerzo horizontal continuo) compuestos por varillas de 6 mm de diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12,5 cm al interior de la columna más un dobléz vertical a 90° de 10 cm; la cuantía a utilizar será 0,001.
- El refuerzo horizontal, cuando sea requerido, será continuo y anclará en las columnas de confinamiento 12,5 cm con gancho vertical a 90° de 10 cm.
- Los estribos a emplear en las columnas de confinamiento deberán ser cerrados a 135°, pudiéndose emplear estribos con ¾ de vuelta adicional, atando sus extremos con el refuerzo vertical, o también, zunchos que empiecen y terminen con gancho estándar a 180° doblado en el refuerzo vertical.
- Los traslapes del refuerzo horizontal o vertical tendrán una longitud igual a 45 veces el mayor diámetro de la barra traslapada. No se permitirá el traslape del refuerzo vertical en el primer entrepiso,

tampoco en las zonas confinadas ubicadas en los extremos de soleras y columnas.

- El concreto deberá tener una resistencia a compresión (f_c) mayor o igual a 17.15 MPa (175 Kg/cm²). La mezcla deberá ser fluida, con un revenimiento del orden de 12,7 cm (5 pulgadas) medida en el cono de abrams. En las columnas de poca dimensión, utilizadas como confinamiento de los muros en aparejo de soga, el tamaño máximo de la piedra chancada no excederá de 1,27 cm (½ pulgada).
- Que todos los empalmes y anclajes de la armadura desarrollen plena capacidad a la tracción, de acuerdo a la NTP E-060 de concreto armado.
- El espesor mínimo de las columnas y solera será igual al espesor efectivo del muro.
- El peralte mínimo de la viga solera será igual al espesor de la losa de techo.
- El peralte mínimo de la columna de confinamiento será de 15 cm. En el caso que se discontinúen las vigas soleras, por la presencia de ductos en la losa del techo o porque el muro llega a un límite de propiedad, el peralte mínimo de la columna de confinamiento respectiva deberá ser suficiente como para permitir el anclaje de la parte recta del refuerzo longitudinal existente en la viga solera más el recubrimiento respectivo.
- Cuando se utilice refuerzo horizontal en los muros confinados, las varillas de refuerzo penetrarán en las columnas de confinamiento por lo menos 12,50 cm y terminarán en gancho a 90°, vertical de 10 cm de longitud.

2.2.1.2. Componentes de albañilería

A. Unidad de albañilería

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. 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 se sílice y cal.

B. Tipos de ladrillos

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.

a. Unidades sólidas - 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 (fig. 7).



Fig. 7 Unidad de albañilería sólida o maciza

b. 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 (fig. 8).

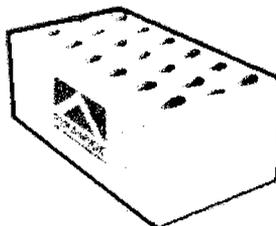


Fig. 8 Unidad de albañilería hueca

c. Unidades tubulares o pandereta.

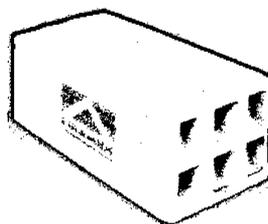


Fig. 9 Unidad de albañilería tubular o pandereta

d. Aplicación estructural en tipos de unidades de albañilería

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005, mencionan que al margen del valor de la resistencia a la comprensión, 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 1, se señala las limitaciones de aplicación estructural de los diferentes tipos de unidades de albañilería.

Tabla. 1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

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

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

C. Unidad de albañilería

Son los ladrillos sólidos, perforados y tubulares o cerámicos de arcilla cocida, elaborado de manera artesanal o industrial, el color varía de acuerdo a la arcilla, que va de amarillento a rojizo.

a. Materia prima

Las arcillas empleadas como materia prima para la fabricación de los ladrillos se clasifican en calcáreas y no calcáreas. Las primeras contienen un 15% de carbonato de calcio, que da lugar a unidades de color amarillento; en las segundas, predomina el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro, que le proporciona un tono rojizo. Las mejores arcillas contienen un 33% de arena y limo; es necesario que exista arena para reducir los efectos de contracción por secado de la arcilla (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

b. Clasificación de los ladrillos de arcilla

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Nacional de Ingeniería, al ladrillo se le puede clasificar de acuerdo a sus dimensiones, en:

- Tipo corriente: 24x14x6 cm. (3 Kg.)
- Tipo King Kong: 24x14x10 cm. (5 a 6 Kg.)
- Tipo pastelero: 20x20x2.5 cm.
- Tipo pandereta: 24x12x10 cm. (2.5 a 3 Kg.)
- Tipo hueco: Se emplea en la construcción de losas aligeradas.
- Tipo IKARO: 24x11.5x9.5 cm. (3 Kg.)

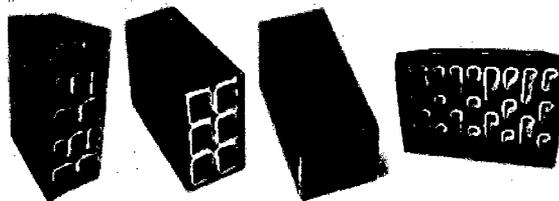


Fig. 10 Unidades de arcilla.

c. Fabricación

El proceso de elaboración del ladrillo es variable, siendo artesanal, semi-industriales e industriales, elaborándose diferentes productos en su forma, tamaño y dimensiones.

Al respecto San Bartolomé, A. 1994, indica que la elaboración de las unidades de arcilla, tiene las siguientes etapas:

- ❖ Extracción del material en la cantera mediante picos, lampas, carretillas y equipo mecánico en la elaboración artesanal; o con palas mecánicas en el proceso industrial. Luego se tamiza el material empleando mallas metálicas, para de este modo eliminar las piedras y otras materias extrañas.
- ❖ Molienda de la materia prima, apisonándola o con molinos.
- ❖ Mezclado de la materia prima con agua y arena, dejando dormir la tierra durante un día (artesanal, como el adobe), o empleando máquinas dosificadoras al peso (industrial).
- ❖ Moldeado se efectúa amasando la mezcla sobre moldes de madera (como el adobe), con prensas (a gran presión) o con extrusoras; en este último caso, la masa plástica es obligada a pasar por una boquilla con la sección transversal del producto terminado.
- ❖ El secado se realiza colocando las unidades sobre un tendal, o introduciéndolas en un horno con temperatura regulable (desde la del medio ambiente hasta los 200 °C).
- ❖ El quemado se efectúa en hornos abiertos con quemadores de leña o petróleo (colocados en la base), esto da lugar a diferencias de más del 100 % entre la resistencia de las unidades ubicadas en la parte baja y alta del horno; o con hornos tipo túnel con quemadores de petróleo o de carbón molido, con cámaras de temperaturas regulables hasta 1200°C y de enfriamiento. Este proceso dura entre 2 y 5 días.

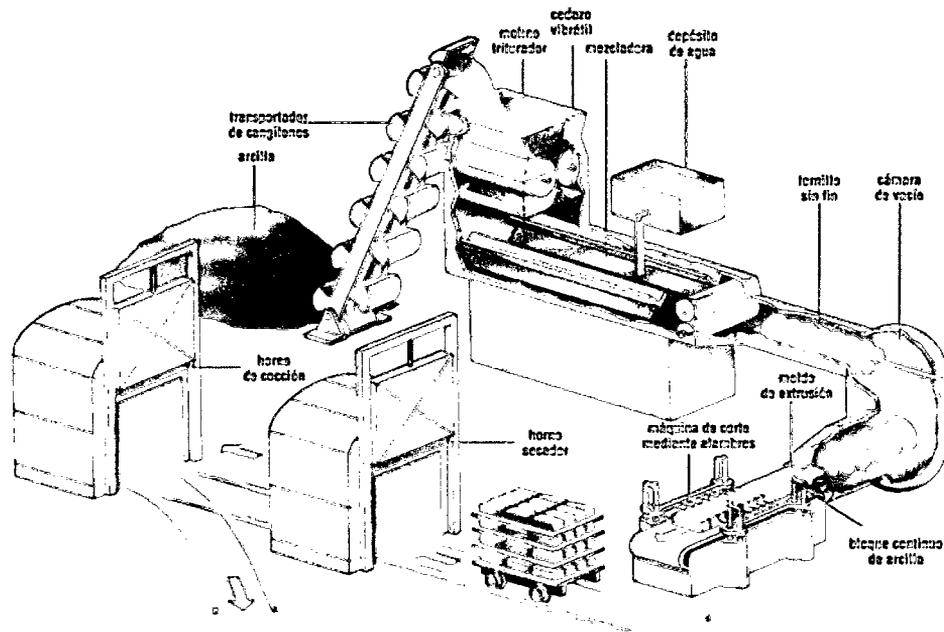


Fig. 11 Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.

D. Propiedades físicas y mecánicas

D.1. Variabilidad dimensional

Aunque es una propiedad física, influye en el comportamiento resistente del muro. Por lo que a mayor variación dimensional, mayor espesor de la junta y mientras mayor sea el espesor de la junta, menor será la resistencia a compresión y la fuerza cortante del muro de albañilería. Las dimensiones de la unidad, según la norma NTP 331.017, se expresan como: largo x ancho x altura ($L \times b \times h$), en centímetros. El largo y el ancho se refieren a la superficie de asiento, y las dimensiones nominales (comerciales) usualmente incluyen 1 cm de junta. De acuerdo a San Bartolomé, A. 1994. La prueba de variación dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Debe hacerse notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte.

Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las normas NTP 399.613 y 399.604, (NTP E-070-2013).

Los resultados están expresados en porcentaje, y se calcula mediante la siguiente fórmula, con una aproximación de 0.001 mm.

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

Dónde:

V : Variabilidad dimensional (%).

ME : Medida especificada por el fabricante (mm).

MP : Medida promedio (mm).



Fig. 12 Variabilidad dimensional del ladrillo.

D.2. Alabeo

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 (San Bartolomé, A. 1994). Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la norma NTP 399.613, (NTP E-070, 2013).

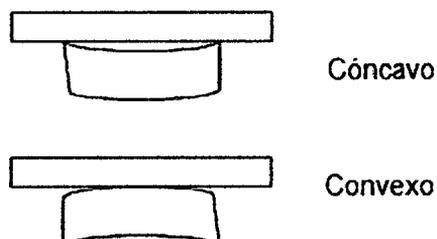


Fig. 13 Convexidad y concavidad del ladrillo.

D.3. Absorción

Según Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Se denomina absorción y absorción máxima a la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.613, (NTP E-070, 2013). Los resultados están expresados en porcentaje según la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P_s - P_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} * 100$$

Dónde:

A : Absorción (%) (Tablas 18 y 19).

Ps : Peso saturado (g)

Pseco : Peso seco (g)

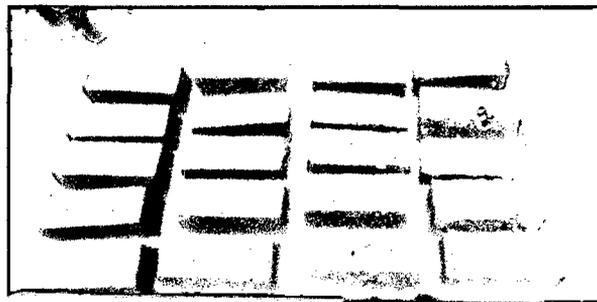


Fig. 14 Absorción del ladrillo.

D.4. Succión

De acuerdo a lo indicado en la norma E-070, consiste en medir un volumen (V1, en cm³) inicial de agua sobre un recipiente de área definida y vaciar una parte del agua sobre una bandeja, luego se apoya la unidad sobre tres puntos en la bandeja de manera que su superficie de asiento esté en contacto con una película de agua de 3 mm de altura durante un minuto, después de retirar la unidad, se vacía el agua de la bandeja hacia el recipiente y se vuelve a medir el volumen (V2, en cm³) de agua; la succión normalizada a un área de 200 cm², se obtiene como: La succión esta expresada en gramos por minuto en un área normalizada de 200 cm², como indica la norma E-070 y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{200 * (P_{suc} - P_{sec})}{\text{Área Bruta}}$$

Dónde:

S : Succión

P_{suc} : Peso (gr) de la unidad luego de ser sumergido en agua durante 1 minuto.

P_{sec} : Peso seco (gr) de la unidad luego de permanecer en el horno.

Área Bruta: Ancho x Largo (cm²)



Fig. 15 Succión del ladrillo.

D.5. Resistencia a la compresión

Los especímenes son medias unidades secas, sobre cuyas superficies de asiento se coloca un capping. Luego, se aplica la carga vertical a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayos de 1.25 mm/min; o, en todo caso, se controla la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura en unos 3 a 5 minutos (San Bartolomé, A. 1994).

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (f'_b) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

$$f_b = \frac{\text{Carg aMáx.}}{\text{Área Bruta}}$$

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

Dónde:

Fb : Esfuerzo a la compresión

Carga Max : Carga (kg).

Área Bruta = Ancho x Largo (cm²)

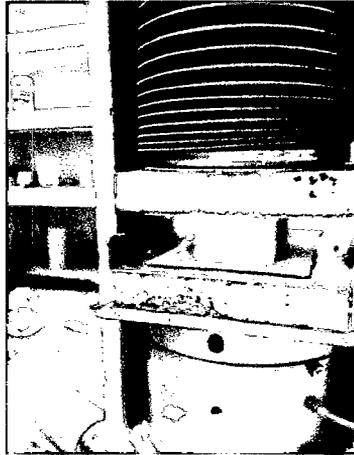


Fig. 16 Ensayo a la compresión del ladrillo.

D.5.1. Módulo de elasticidad.

Como parte del ensayo de compresión, cuando se dispone de máquinas que pueden medir la reacción del testigo ante la aplicación de deformación controlada, es posible obtener curvas completas esfuerzo-deformación unitaria. En la fig. 17, se muestran curvas normalizadas para unidades de arcilla, concreto y sílice-cal. Se puede notar en ellas lo siguiente. Ante carga de compresión, las unidades de diferentes materias primas presentan comportamientos diferentes.

- Los módulos de elasticidad, medidos como la pendiente de la secante a la mitad de la resistencia última (1/2 fb) se pueden estimar en 400 f'b para las unidades de arcilla, 1000 f'b para las unidades de concreto y 800 fb para las unidades de sílice-cal.
- Las deformaciones unitarias correspondientes al esfuerzo de rotura (f'b) son aproximadamente 0,6% para unidades de arcilla, 0,3% para unidades de concreto y 0,45% para unidades de sílice-cal.
- Las unidades de arcilla muestran comportamientos más frágiles que las de concreto y sílice-cal.

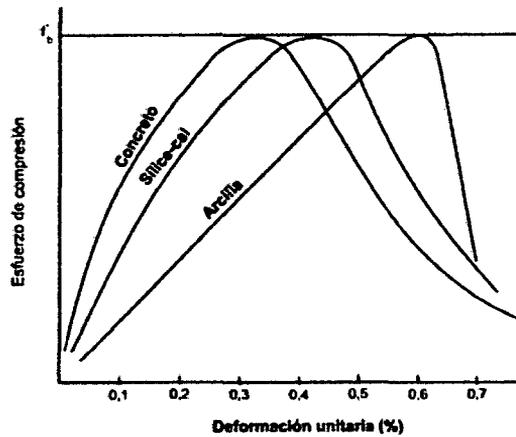


Fig. 17 Curvas normalizadas esfuerzo de compresión (f'_c) vs. Deformación unitaria de unidades ensayadas en compresión.

E. Clasificación del ladrillo estructuralmente

De acuerdo a la norma NTP 331.017, los ladrillos se clasifican en 5 tipos:

- **Tipo I.** Estos ladrillos tienen una resistencia y durabilidad muy baja; son aptos para ser empleados bajo condiciones de exigencias mínimas (viviendas de 1 ó 2 pisos), evitando el contacto directo con la lluvia o el suelo.
- **Tipo II.** En esta categoría clasifican los ladrillos de baja resistencia y durabilidad; son aptos para usarse bajo condiciones de servicio moderadas (no deben estar en contacto directo con la lluvia, suelo o agua).
- **Tipo III.** Son ladrillos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones sujetas a condiciones de bajo intemperismo.
- **Tipo IV.** Estos ladrillos son de alta resistencia y durabilidad; aptos para ser utilizados bajo condiciones de servicio rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo moderado, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.
- **Tipo V.** Tienen una resistencia y durabilidad elevada; son aptos para emplearse en condiciones de servicio muy rigurosas, pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo similares al tipo IV.

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la tabla 2, según la norma técnica peruana E-070.

Tabla. 2 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	Variación de la dimensión (Máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a compresión f_b mínimo en MPa (Kg/cm 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)

f_b = Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería.

MPa = Megapascal.

Fuente: NTP E-070.

F. Limitaciones en su aplicación

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la tabla 3. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTP E-030 de diseño sismoresistente; para las edificaciones con ladrillo artesanal sólido debe establecerse condiciones mínimas que puede ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

Tabla. 3 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 más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido artesanal	No	Si, hasta dos pisos	Si
Sólido industrial	Si	Si	Si
Hueco	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

Fuente: NTP E-070.

G. Mortero

La norma E-070, indica que el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399.607 y 399.610.

San Bartolomé, A. 1994. Menciona que la función principal del mortero en la albañilería es adherir las unidades corrigiendo las irregularidades que la misma tiene, así como sellar las juntas contra la penetración del aire y de la humedad.

En cuanto a la adherencia unidad-mortero, ésta se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose (como agujas) en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas (San Bartolomé, A. 1994).

a. Componentes del mortero

El mortero básicamente 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.

a.1. Cemento

Se utiliza básicamente el cemento portland tipo I (ASTM C-150), se recomienda preparar una mezcla más rica (bajando 1/2 volumen a la arena) para lograr la misma resistencia que con un cemento tipo I.

a.2. Agregado fino

Estará constituido por arena fina natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la tabla 4.

Se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de pilas y muretes, proporcionen resistencias según lo especificado en la norma E-070.

Tabla. 4 Granulometría de la arena fina

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

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones norma E – 070

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5 para mortero.
- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- No deberá emplearse arena de mar.

a.3. Agua

El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica (NTP 339.088)

b. Ensayo a la compresión

El ensayo de compresión en probetas de mortero (usualmente cilindros de 5.04 cm de diámetro y 10 cm de altura), vaciados sobre moldes metálicos, y curados durante 28 días en una poza con agua; se realiza sólo con fines de controlar la calidad del mortero.

c. Clasificación

Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes, tabla 5. Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas en estado suelto como se indica en la tabla 5.

Tabla. 5 Tipos de mortero, NTP E-070

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

Fuente: NTP E-070.

- Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o premezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes, proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos (Reglamento nacional de edificaciones, norma E-070,2013).
- De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la tabla N°6, (Reglamento nacional de edificaciones, norma E-070,2013).

Es necesario señalar que la norma ASTM C-270 especifica 2 tipos de mortero (M y S) para la construcción de los muros portantes, de manera que el volumen de arena esté comprendido entre 2/4 y 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes, cemento y cal, tabla 6.

Tabla. 6 Tipos de Mortero, ASTM C-270

Tipo	Cemento	Cal	Arena
M	1	1/4	2.8 a 3.8
S	1	1/4 a 1/2	2.8 a 4.5

Fuente: San Bartolomé, A. 1994

2.2.1.3. Albañilería simple

A. Especificaciones generales para el asentado de ladrillo

Mano de obra empleada en la construcción de la albañilería será calificada debiéndose supervisar el cumplimiento de las siguientes exigencias básicas:

1. Los muros se construirán a plomo en línea. No se atentará contra la integridad del muro reciente asentado.
2. En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedaran completamente llenas de

morteros. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor. En las juntas que contengan el refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra.

3. Se mantendrá el temple del mortero mediante el reemplazo del agua que se pueda haber evaporado, por una sola vez. El plazo del reemplazo no excederá al de la fragua inicial del cemento.
4. Las unidades de albañilería se asentaran con las superficies libres de polvo y sin agua libre. El asentado se realizara presionando verticalmente las unidades, sin bambolearlas.
5. Para el asentado de la primera hilada, la superficie de concreto q servirá de asiento, se preparara con anterioridad de forma que quede rugoso, luego se limpiara de polvo u otro material suelto y se humedecerá antes de asentar la primera hilada.
6. No se asentara más de 1.30 m de altura de muro de una jornada de trabajo. En el caso de emplearse unidades totalmente sólidas, la primera jornada de trabajo culminara sin llenar la junta vertical de la primera hilada, este relleno se realizará al iniciarse la segunda jornada.
7. Las juntas de construcción entre jornadas de trabajo estarán limpias y serán previamente humedecidas.
8. El tipo de aparejo a utilizar será de sogá, cabeza o el amarre americano, trasladándose las unidades entre las hiladas consecutivas.
9. El procedimiento de colocación y consolidación del concreto liquido dentro de las celdas de las unidades, como en los elementos de concreto armado, deberá garantizar la ocupación total de espacio y la ausencia de cangrejas.
10. Las vigas peraltadas serán vaciadas de una sola vez en conjunto con la sola de techo.

B. Modelaje especímenes y ensayos

Según, Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Las resistencias de la albañilería a la compresión, tracción y corte, define el comportamiento estructural de los diferentes elementos de albañilería ante la acción de solicitaciones reales (cargas gravitacionales, sismo y viento). El comportamiento de los especímenes, cuando se somete a ensayo, es el producto de la acción heterogénea de los componentes de la albañilería (unidad, mortero o líquido), imitando o modelando la reacción cuando es sometido a cargas iguales a las del ensayo. El modelaje es complicado, por las características anisotrópicas de la albañilería y porque en la práctica, las cargas no se presentan, como en el ensayo, aislada de efectos de borde y otras interacciones. En el ensayo de especímenes se debe escoger determinadas orientaciones preferentes para la carga, en general son las siguientes:

- Para ensayos de compresión se aplica carga coplanar perpendicular a la hilada. Esta orientación es prioritaria, pues corresponde a la acción gravitacional en muros horizontales, que son los predominantes. El valor obtenido es útil para analizar el comportamiento de muros de corte ante la acción conjunta de las cargas de gravedad y las acciones sísmicas, situación en las que se presentan elevados esfuerzos de compresión, especialmente verticales, en los talones comprimidos.
- La tracción coplanar se genera en los ensayos aplicando fuerzas de corte, para producir tracciones indirectas. Ello suele hacerse tomando tres ángulos con relación a la hilada: 0°, 45° y 90°. Estos datos posibilita, interpolando entre los valores medios, la determinación de la resistencia en cualquier dirección intermedia. Todo ello define el comportamiento del muro de albañilería hasta el nivel de agrietamiento para combinaciones de cargas gravitacionales y horizontales coplanares, originadas por sismo o viento.
- Los ensayos de tracción por flexión se aplica carga perpendicular al plano, para generar flexiones paralelas y perpendiculares a la hilada, lo que permite la determinación de los módulos de ruptura de la

albañilería en estas direcciones principales. Esta información permite analizar el comportamiento de muros sometidos a carga perpendicular a su plano, que pueden tener condiciones de apoyo de borde variadas.

- Para evaluar la resistencia al corte se utiliza el ensayo de cizalle en la junta horizontal del mortero. Esta junta, sometida al mismo tiempo de corte en su plano y comprensión vertical, puede ser el plano de falla de muros de albañilería simple y albañilería confinada.

La determinación de las características del espécimen y del tipo, procedimiento y evaluación del ensayo es de considerable importancia, pues debe conducir a ensayos repetibles, económicos e interpretables.

C. Discreciones de falla

La albañilería es un material compuesto, heterogéneo y anisotrópico, en el que los planos de debilidad coinciden con las juntas verticales y horizontales y en el que se integran, en un comportamiento único, materiales con características disimiles. Las juntas horizontales, debido a su naturaleza continua, dividen a la albañilería en capas (hiladas), dando la apariencia de un material compuesto laminado.

La elaboración de criterios de fallas, en cargas coplanares, debe contemplar los posibles modos de falla en tracción y en corte por cizalle a lo largo de las juntas horizontales y verticales; en este último caso, debe tener en cuenta el efecto de las compresiones perpendiculares a la junta. Además es necesario que se considere los efectos de tracción transversal generados por las diferencias en las características elásticas de los materiales.

D. Ensayo de prismas - pilas

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra (fig. 18). Los primas se llenan con concreto

líquido (unidades huecas), asentadas o apiladas (unidades sólidas), (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

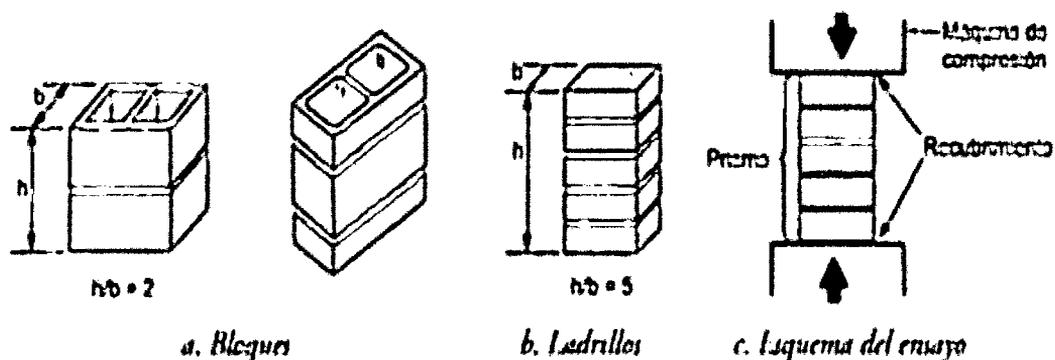


Fig. 18 Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependen si la albañilería es de ladrillos o de bloques. En el caso de los prismas de ladrillos, la relación alto – ancho del prisma estará entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30 cm. En el caso de las pilas de bloques, la esbeltez estará entre 1.3 y 5, y el alto no será menor de 30 cm, (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

La norma E-070 de albañilería, señala que la resistencia de la albañilería a compresión axial (f_m) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.

Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva (NTP E-070). La resistencia característica (f_m) en pilas, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos la desviación estándar (NTP E-070).

San Bartolomé, A. 1994. Describe que las pilas fallan principalmente por tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical); esto 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 trabajará a compresión y la unidad a tracción lateral. Otro tipo de falla en las pilas es por aplastamiento (de la unidad o del mortero), producida cuando se emplean materiales de baja resistencia.

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Concluyen que la expansión lateral libre del mortero, asumiendo módulos de poisson de valor similar para ladrillo y el mortero, será mucho mayor para este último. Debido a que en el prisma, y en un muro real de albañilería, deben deformarse lo mismo lateralmente, a causa, sobre todo, de la fricción entre ambos materiales, la expansión lateral del mortero estará restringida por el ladrillo por el efecto de la adherencia. Por lo tanto, el mortero, está sometido a compresión triaxial, y el ladrillo a una combinación de compresión axial y tracción biaxial, en la pila (fig.19).

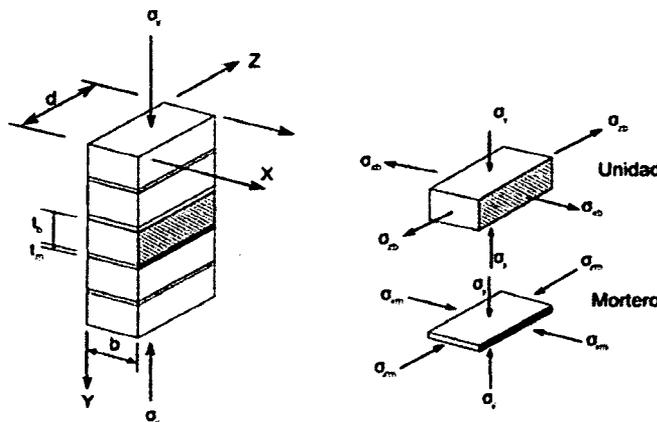


Fig. 19 Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial. (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

En los muros reales, los ladrillos no están asentados uno encima del otro, sino con algún tipo de amarre. Las alturas y las esbelteces son bastante mayores que las de los prismas. Sin embargo, si no ocurren fallas previas, por inestabilidad elástica o por excentricidad de la carga, la forma de la falla del muro es semejante a la del prisma. Esto significa que en los muros ocurren agrietamientos de tracción transversal. El valor f'_m se calcula contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la tabla 7.

Tabla. 7 Factores de corrección de f_m por esbeltez

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Fuente: NTP E-070.

E. Ensayo de muretes

El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal debe medir 1 m. debe ser de albañilería. En muchas investigaciones se han ensayo especímenes de menor dimensión, esto es posible siempre y cuando se calíbrén los resultados, ya que producen mayores resultados para la misma albañilería (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005). El ensayo consiste, en cargar diagonalmente el murete con una carga de compresión creciente y a un ritmo controlado hasta la rotura.

El dispositivo de transferencia de la carga del espécimen produce concentración de esfuerzos y debe transferir la carga uniformemente a las superficies de contacto de la albañilería para evitar fallas localizadas. El ensayo más utilizado para determinar la resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonal es, el de corte o compresión diagonal, fallando en forma escalonada a través de las juntas, o cortando las unidades, lo último se produce cuando se desarrolla una buena adherencia entre el mortero y la unidad.

La similitud de la forma de falla del ensayo con la forma de falla de ciertos muros de edificaciones ante acciones sísmicas, muchos investigadores, consideran como un ensayo representativo ideal, cuando en realidad las condiciones de borde son, por lo general, totalmente diferentes entre ensayo y realidad. Es decir, el valor de este ensayo es un método simple y práctico de evaluar resistencias al corte y a la tracción diagonal de diferentes albañilerías (fig. 20). La norma E-070 de albañilería, señala que la resistencia de la albañilería al corte (v_m) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.

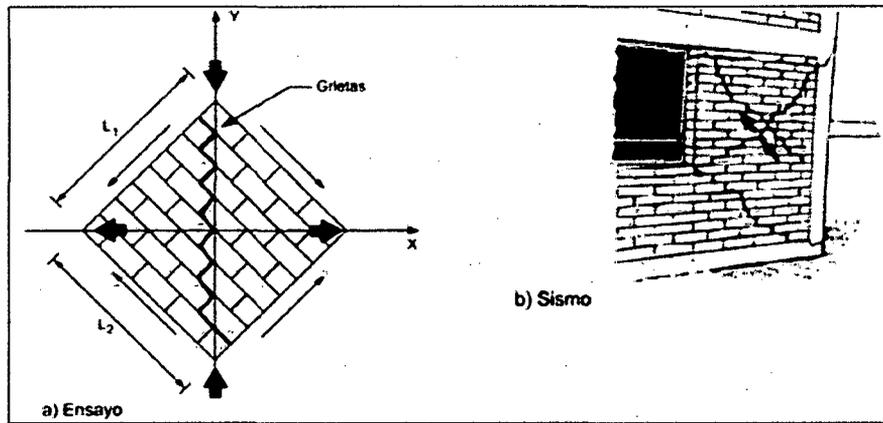


Fig. 20 Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

La resistencia característica (v'_m) en muretes, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar (NTP E-070). El valor de v'_m para diseño no será mayor de $0.319 \sqrt{f'_m}$ MPa ($\sqrt{f'_m}$ Kg/cm²) El resultado del ensayo es el valor nominal unitario de corte (v'_m) obtenido a partir de las siguientes fórmulas:

$$v_m = \frac{P_u}{A_n}$$

$$v'_m = v_m - s$$

Dónde:

P_u : Carga de rotura

S : Desviación estándar.

A_n : Área del espécimen, se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_n = \frac{1}{2}(L_1 + L_2)by$$

En la que:

L_1 y L_2 : Son los lados reales del testigo o espécimen

b : Espesor efectivo de murete

γ : Proporción del área con relación al área bruta de las unidades

La deformación por corte mostrada en la fig. 21, se calcula:

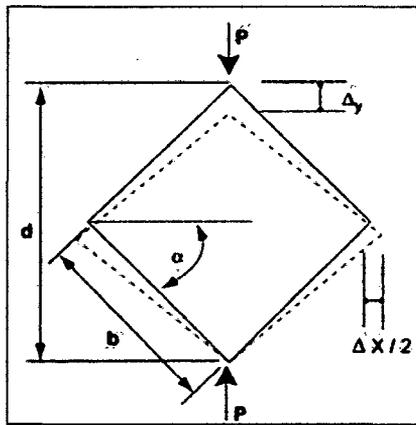


Fig. 21 Esquema de deformación del espécimen (murete), (Gallegos, H. y Casabonne, 2005).

En cualquier caso, la evaluación de los ensayos debe hacerse estadísticamente para determinar el valor característico de la resistencia al corte. En general cuando no hay precompresiones o estas son muy reducidas, la falla tiende a ocurrir siguiendo las juntas horizontales y verticales, aun ángulo aproximado de 45° con la hilada. Cuando se aplican precompresiones las grietas pueden atravesar unidades, y el ángulo de falla se hace dependiente de su magnitud. Estos hechos han conducido a establecer que la falla, en este caso la tracción principal alcanza su valor crítico.

La predicción de la resistencia a cortante del espécimen sometido a compresión diagonal depende de la solución de un problema de elasticidad bidimensional para un material no homogéneo y del conocimiento de la envolvente de falla biaxial de la albañilería. Sin embargo, si se conoce las limitaciones de las teorías de falla aplicables a materiales isotrópicos y homogéneos cuando el espécimen falla por las juntas, estas teorías tradicionales son útiles para evaluaciones cualitativas y comparativas.

2.2.1.4. Comportamiento sísmico

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Después de varias investigaciones mencionan que el diseño económico de estructuras sismo – resistentes, solo puede ser satisfecha si los muros son conducidos a comportamientos (falla preferente) en flexión y si se evita la falla frágil, particularmente de corte y deslizamiento. Las condiciones básicas para lograr lo antes descrito, son las siguientes:

- Los muros deben ser de albañilería confinada o de albañilería armada. Los muros de albañilería simple confinada deben ser diseñados en el rango elástico y, consecuentemente, no están sujetos a demandas cuantitativas de ductilidad.
 - La sección transversal de los muros debe ser preferentemente simétrica. Secciones rectangulares o en forma de I.
 - Los muros deben tener esbeltez, medida por su relación entre su alto y largo, siempre mayor que uno, y preferentemente mayor que dos. Esta condición proviene de haberse establecido que los muros de esbeltez reducida tienen tendencia a fallar en corte.
 - Los muros de edificios de mediana altura deben, preferentemente, actuar como voladizos para asegurar una respuesta sísmica dúctil.
- San Bartolomé, A. 1994. Indica como calcular experimentalmente el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad (R_d)

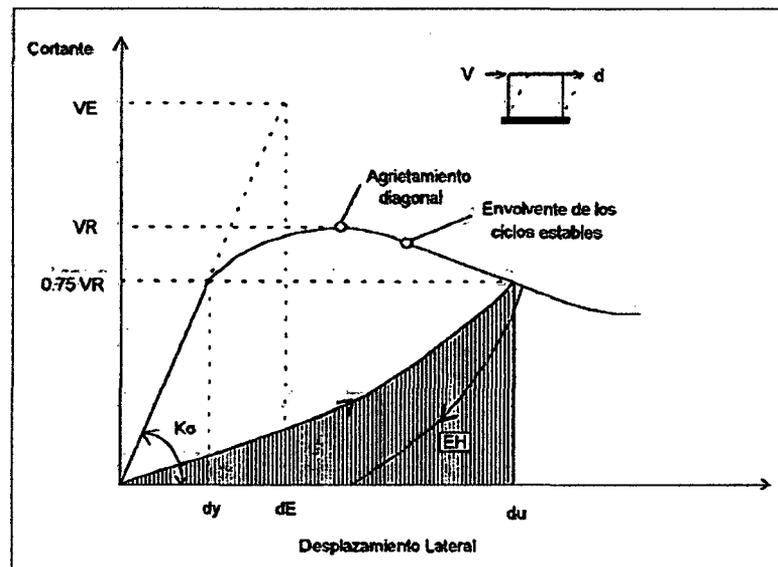


Fig. 22 Gráfica para el cálculo experimental de R_d . (San Bartolomé, A. 1994).

Definiendo la ductilidad como la capacidad que tiene un espécimen de deformarse inelásticamente, sin que se produzcan daños irreparables o una severa degradación en la capacidad de carga, propone dos criterios para calcular experimentalmente el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad " R_d ".

- Criterio de igualación de energía ($E = EH$): calculando "EH" para una distorsión angular de 1/200, asociada al límite de reparabilidad, se obtiene:

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{2K_0} \frac{EH}{VR}$$

Dónde:

K_0 : Rigidez lateral Inicial

EH: Capacidad de absorción de energía inelástica

E: Energía elástica equivalente = $VE dE/2 = (VE)^2/2K_0$

- En función de la ductilidad de desplazamiento correspondiente al 25% de degradación de carga: igualando E a la energía elastoplástica ideal Se obtiene:

$$\frac{VR^2(2\mu-1)}{K_0}$$

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{(2\mu-1)}$$

En la que:

μ : Ductilidad de desplazamiento al 25% de degradación de carga = du/dy

La aplicación del primer criterio proporciona valores de $Rd = 1.8$ para muros sin refuerzo horizontal con alta carga axial ($0.05 fm < \sigma < 0.15 fm$), y $Rd = 2.5$ para muros con baja carga axial ($\sigma < 0.05 fm$), o con alta carga axial ($\sigma < 0.15 fm$) pero reforzados horizontalmente. La aplicación del segundo criterio proporciona valores muy elevados de Rd . Gallegos, H. y Casabonné, C. 2005. Indican que las principales causas que explican las fallas sísmicas de las construcciones de albañilería son las siguientes:

- ✓ Carencia de refuerzo.
- ✓ Configuraciones defectuosas.
- ✓ Muros con rigideces relativas muy desiguales.
- ✓ Diafragmas incompetentes.
- ✓ Unidades de albañilería frágiles.

Relleno incorrecto de los alvéolos en la albañilería armada.

2.2.1.5. Incidencia de las propiedades mecánicas del ladrillo y mortero en la resistencia de muros.

El ladrillo y el mortero en la albañilería, deben tener un comportamiento monolítico, es decir ante la presencia de cargas provenientes del exterior, el mortero y el ladrillo deben actuar como una sola unidad, independientemente presentan las siguientes características mecánicas en la resistencia de los muros:

Mortero: El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él.

Ladrillo: La resistencia a la compresión de la unidad es, por sí sola, su principal propiedad y la que finalmente determina la resistencia a la compresión del muro de albañilería ($f'm$). En general, unos valores altos de resistencia a la compresión señalan una 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.

2.2.3. CONCEPTOS BASICOS DE ESTADISTICA

2.2.3.1. Media

También llamada promedio o simplemente media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N}$$

Donde:

- x_1 : Datos
- N : Número total de datos
- \bar{x} : Media aritmética

2.2.3.2. Varianza

La varianza es una medida de dispersión, una medida de cómo los valores de los datos pueden diferir de su media. La varianza es la media aritmética de los cuadrados de las diferencias de los valores individuales de la media.

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Donde:

- x_1 : Datos
- N : Número total de datos
- \bar{x} : Media aritmética
- σ^2 : Varianza

2.2.3.3. Desviación estándar

Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

- x_1 : Datos
- N : Número total de datos
- \bar{x} : Media aritmética
- σ : Desviación estándar

2.2.3.4. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. A mayor valor de coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable, y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V.

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Donde:

\bar{x} : Media Aritmética

σ : Desviación estándar

C.V. : Coeficiente de variación

2.2.4. MUESTREO

La NTP 399.604, 2002 establece que para propósito de los ensayos, unidades enteras de albañilería de concreto serán seleccionadas por el comprador y el vendedor de acuerdo a lo establecido por un método aceptado para el muestreo aleatorio que acuerden u opten. En todo caso las unidades deberán ser seleccionadas utilizando una tabla estadística de números aleatorios.

Los especímenes deberán ser representativos del lote total de unidades de los cuales han sido seleccionados. (NTP 399.604, 2002). Para determinar la resistencia a compresión, variación dimensional, alabeo y absorción, se seleccionaran seis unidades de cada lote de 10 000 unidades o menos y 12 unidades de cada lote de más de 10 000 y menos de 100 000 unidades. Para lotes de más de 100 000 unidades, se seleccionaran seis unidades por cada 50 000 unidades o fracción. (NTP 399.604, 2002)

Se deberá marcar cada espécimen de manera que puedan ser identificados en cualquier momento. Las marcas cubrirán no más del 5% del área superficial del espécimen. (NTP 399.604, 2002)

CAPITULO III. MATERIALES Y



METODOS

Las muestras obtenidas para los ensayos fueron de la ciudad de Cajabamba, capital de la provincia Cajabamba; situada al sureste de la región Cajamarca, con coordenadas UTM: 17M 825957 E, 9156184 N y una altitud de 2654 m.s.n.m., cuenta con un clima cálido-húmedo con una temperatura promedio anual de 18°-30°C y humedad relativa de 60-70%.

Los ensayos necesarios para la investigación se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz”, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

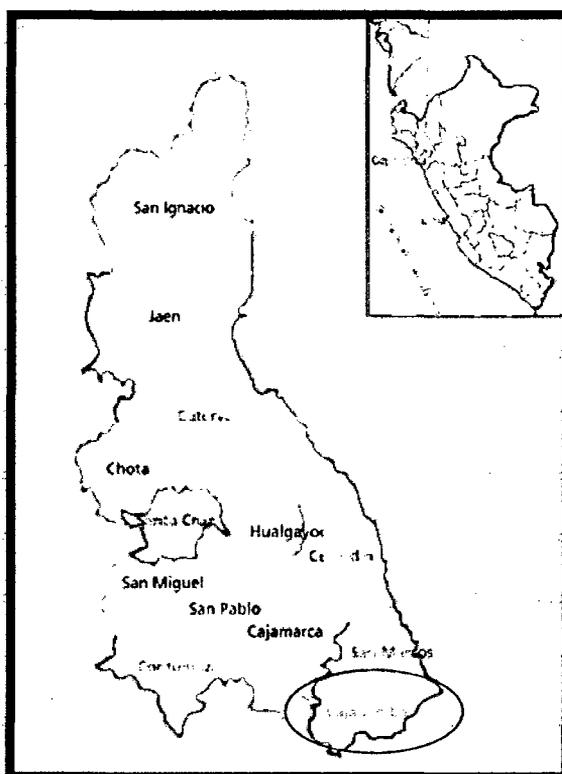


Fig. 23 Mapa de localización de la provincia de Cajabamba.

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. MATERIALES

- Ladrillo de arcilla fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba.
- Cemento portland tipo I (ASTM C-150).
- Agregado fino de la cantera “El Gavilán”.

Coordenadas (775075.5m E, 9203016.3m N, 2966 m.s.n.m)

- Agua potable.

3.1.2. EQUIPOS

Son necesarios para desarrollar la investigación, los siguientes equipos:

- Mallas ASTM N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.
- 01 Balanza con capacidad de 5000 g y una aproximación de 0.1 g.
- 01 Balanza con capacidad de 300 Kg y una aproximación de 0.01 g.
- 01 Escuadra metálica graduada al 1 mm.
- 01 Regla metálica graduada al 1 mm.
- 03 Bandejas de 30*50 cm.
- 01 Nivel topográfico y trípode.
- 01 Deflectómetro.
- 01 Vernier.
- 01 Horno ventilado de 110 °C a 115 °C.
- 01 Maquina universal para ensayos de compresión uniaxial.
- 01 Maquina universal con péndulo.
- 01 Maquina universal para ensayos con acero.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

A. Localización de la investigación

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca; en el Laboratorio de Ensayos de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz", edificio 1C de Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 776651 m

Norte : 9206979 m

Altura : 2683 m.s.n.m

Uso : 17

Hemisferio: Sur

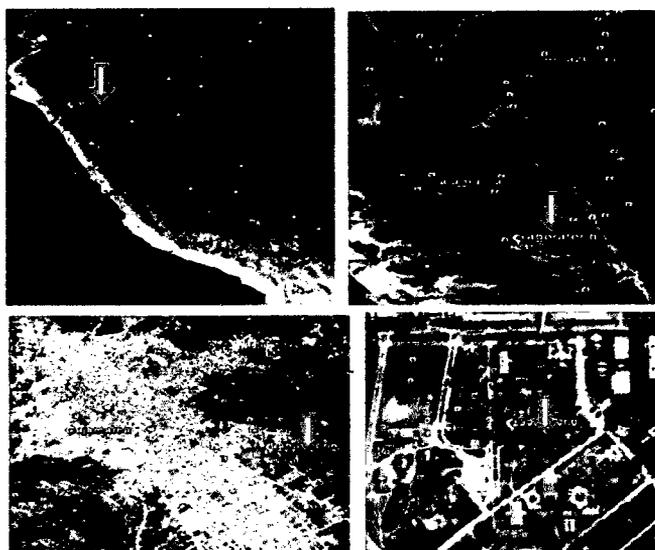


Fig. 24 Fotografía satelital de la ubicación de estudio. (Fuente Google Earth)

Ubicación de las ladrilleras.

Ladrillera artesanal del Sr. Santiago Romero

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 823506.0 m
 Norte : 9168130.0 m
 Altura : 2838 m.s.n.m
 Uso : 17
 Hemisferio : Sur

Ladrillera Artesanal del Sr. Francisco Córdoba

Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)

Este : 823592.0 m
 Norte : 9168080.0 m
 Altura : 2847 m.s.n.m
 Uso : 17
 Hemisferio : Sur

B. Periodo de investigación

La investigación se realizó durante los meses de enero 2015 – junio 2015, en un total de 6 meses consecutivos.

C. Tipo de investigación

Investigación descriptiva: se destacan las características o rasgos de los ladrillos, describiéndolas y analizándolas.

D. Población

Ladrillos de arcilla artesanales, que se ha producido en los meses de enero 2015 a marzo 2015, artesanalmente en la fábrica "Santiago Romero" y de la fábrica "Francisco Córdoba" de Cajabamba-Cajamarca.

E. Muestra

Ladrillos artesanales de la muestra 1(Ladrillera Romero) : n = 200.

Ladrillos artesanales de la muestra 2(Ladrillera Córdoba): n = 200.

F. Técnica del muestreo

Se escogieron 30 ladrillos para los ensayos de variación dimensional, alabeo, compresión simple, succión y absorción, adicionalmente escogimos 170 ladrillos para los ensayos de muretes y pilas por cada ladrillera. De la primera muestra de un lote de 7000 unidades y de la segunda de un lote de 5000 unidades.

G. Instrumentos de recolección de datos

Se realizaron entrevistas, fichas técnicas, ensayos de laboratorio de especímenes de ladrillo, (físicos y mecánicos), pilas y muretes (propiedades mecánicas), estudio de arena gruesa (granulometría, propiedades físicas)

H. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos y gráficos se realizaron mediante el software microsoft excel 2013. En el análisis de datos, se hizo con referencia a la norma E-070

3.2.2. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION

A. Ensayo del agregado fino.

Cantera: El gavilán

Recolección de la muestra: se seleccionaron por el método del cuarteo. Análisis granulométrico de acuerdo a las normas NTP 400.037- ASTM C33-07. Determinación del módulo de finura, según la norma NTP 334.045, ASTM C- 125. Se determinó los pesos específicos y porcentajes de absorción, según la norma NTP 400.022, ASTM C128-07. Se determinó el contenido de humedad, según la norma NTP 400.010, ASTM C128-07. Se calculó el peso unitario de la arena, según la norma NTP 400.017 - ASTM C29/C29M - 07

Según se muestra en el Anexo B

B. Ensayos clasificatorios del ladrillo

Se realizaron los ensayos de los ladrillos a fin de limitar su aplicación en diseños estructurales. De acuerdo a la NTP 399.613, se seleccionaron unidades enteras representativas del lote al cual pertenecían, con color uniforme, textura y tamaño, libres de impurezas, limo u otros materiales no asociados con el proceso de fabricación.

a. Variación dimensional

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.613 y 399.604:

- Se secaron los ladrillos en un horno ventilado de 110 °C a 115 °C, por 24 horas.
- Después del secado se dejaron enfriar a una temperatura de 18 °C, por un período de 6 horas, para luego pesarlo con una aproximación de 0.1 g. Luego se procedió a limpiar las aristas y los lados del ladrillo, para eliminar las partículas sueltas y salientes.
- Se midieron con un vernier, el largo, ancho y alto, a la mitad de las aristas que limitan cada cara, realizándose 4 medidas por cada una

de las dimensiones (Foto. 3 del anexo B) promediándose para obtener los resultados que se muestran en la tabla 21 y 22.

Los resultados fueron expresados en porcentaje, y se calculó mediante la siguiente fórmula, con una aproximación de 0.5 mm.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

V : Variación dimensional (%).

ME : Medida especificada por el fabricante (mm).

MP : Medida promedio (mm).

b. Alabeo

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo. Para la realización de este ensayo según la norma NTP 399.613.

Se utilizó dos reglas metálicas para medir la concavidad y convexidad, luego se procedió a registrar los valores de alabeo, dependiendo si era cóncavo o convexo, observado cuando se colocó en forma diagonal la regla sobre el centro de las dos caras paralelas al de asiento o de vértice a vértice con una escuadra graduada y se midió el alabeo con la regla metálica graduada al 1 mm (Foto. 4 del anexo B), los resultados se muestran en la tabla 23 y 24

c. Compresión simple

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.613 y 339.604:

- Se registró el peso y midiendo el largo, ancho y alto
- Luego se ensayaron en la máquina universal para ensayos de compresión uniaxial (Foto. 5 del anexo B).

La resistencia a compresión f_b se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta; y la resistencia a compresión característica f'_b se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados, según como indica la norma E-070.

$$fb = \frac{\text{Carga M\u00e1x}}{\text{\u00c1rea Bruta}} \quad (2)$$

$$f'b = fb - \sigma \quad (3)$$

D\u00f3nde:

$f'b$: Resistencia a la compresi\u00f3n caracter\u00edstica del ladrillo.

fb : Resistencia a la compresi\u00f3n promedio del ladrillo

σ : Desviaci\u00f3n est\u00e1ndar.

Los valores se expresan en las tablas 25 y 26

c.1. C\u00e1lculo del m\u00f3dulo de elasticidad (E_b) en ladrillos de arcilla.

Se coloc\u00f3 un deform\u00edmetro en la m\u00e1quina de compresi\u00f3n, para medir las deformaciones totales cada 1000 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de alba\u00f1iler\u00eda, con las dimensiones de ancho, largo y altura encontradas anteriormente, con los 30 ladrillos de cada tipo y con los datos obtenidos, se procedieron a dibujar la gr\u00e1fica esfuerzo vs deformaci\u00f3n unitaria, haciendo un diagrama de dispersi\u00f3n para cada tipo de muestra de ladrillo como se muestra el gr\u00e1fico 1 y grafico 2.

Para obtener el esfuerzo (σ) y la deformaci\u00f3n unitaria (ϵ_u) se utilizaron las f\u00f3rmulas siguientes:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4)$$

$$\epsilon_u = \frac{\epsilon_t}{h} \quad (5)$$

D\u00f3nde:

σ : Esfuerzo

P : Carga Aplicada

A : \u00c1rea en la que se aplica la carga (Largo x Ancho)

ϵ_u : Deformaci\u00f3n Unitaria.

ϵ_t : Deformaci\u00f3n Total.

H : Altura del ladrillo

Los m\u00f3dulos de elasticidad se calcularon en el l\u00edmite proporcional el\u00e1stico dada con la gr\u00e1fica esfuerzo vs deformaci\u00f3n unitaria para de cada tipo ladrillo (artesanal e industrial), los resultados se muestran en la tabla 27 y 28.

C. Ensayos no clasificados de ladrillo

Las propiedades no clasificatorias del ladrillo pero, no menos importantes son:

a. Ensayos de succión.

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo, el ensayo se realizó de la siguiente manera.

- ❖ Los ladrillos se secaron en el horno a una temperatura de 110° C por 24 horas y luego se pesaron.
- ❖ Se registró el peso seco reiteradas veces hasta no obtener variaciones, cuando sucedió lo contrario el ladrillo debió permanecer en el horno.
- ❖ Se preparó una bandeja de metal con agua potable y se colocó sobre ésta, dos barras lisas de acero de ½" que sirvieron de apoyo para el ladrillo, los datos registrados se muestran en las tablas 30 y 31.

Se pesaron los ladrillos secos, luego se colocaron sobre las barras durante 1 minuto y lleno la bandeja con la finalidad de mantener el nivel de agua original, (Foto. 6 del anexo B) Luego la unidad húmeda se pesó. La succión se expresó en gramos por minuto en un área normalizada de 200 cm², como indica la norma E-070 y se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$S = \frac{200 \cdot (P_{suc} - P_{sec})}{\text{Área Bruta}} \quad (6)$$

Dónde:

S : succión

P_{suc} : Peso (gr) de la unidad luego de ser sumergido en agua durante 1 min.

P_{sec} : Peso seco (gr) de la unidad luego de permanecer en el horno.

Área Bruta : Ancho x Largo (cm²).

b. Ensayos de absorción

Se usaron 30 unidades de cada tipo de ladrillo. El ensayo se realizó de la siguiente manera según la NTP 399.604 y 399.613:

Los ladrillos de arcilla, se secaron en el horno a una temperatura de 110 °C y se pesaron a las 24 horas. Se registró el peso reiteradas veces hasta no obtener variaciones. Se dejaron enfriar los ladrillos durante 8 horas y se introdujeron en un recipiente lleno con agua potable durante 24 horas, registrando el peso. (Foto. 7 anexo B) Los resultados fueron expresados en porcentaje en las tablas 32 y 33 dado por la fórmula:

$$A = \frac{P_s - P_{seco}}{P_{seco}} * 100 \quad (7)$$

Dónde:

A : Absorción (%) (Anexo A.)

P_s : Peso Saturado (gr)

P_{seco} : Peso seco (gr)

D. Prismas de albañilería

Controlar la calidad de los ladrillos no es suficiente para predecir el comportamiento de un muro de albañilería y conocer el comportamiento que tienen los muros confinados ante las sollicitaciones de carga reales, no es fácil conocer, ya que los ensayos son costosos, por lo que se elaboraron especímenes pequeños (pilas y muretes) a las cuales se les aplicó cargas que son iguales a las sollicitaciones reales.

a. Pilas de albañilería

a.1. Procedimientos de construcción

Se construyeron 6 pilas de 6 hiladas, 3 pilas del ladrillo de la muestra 1 y 3 pilas del ladrillo de la muestra 2, con un espesor de mortero de 12 mm, (Foto. 7 del anexo B). Debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regaron las unidades por media hora el mismo día antes del asentado. El diseño del mortero se realizó analíticamente (Anexo A - 8.2), con las proporciones indicadas en la norma E-070, para muros portantes. Mortero tipo P2 = 1:4

(cemento: arena). Al momento de la construcción se controlaron la altura con el escantillón, y la verticalidad con un nivel y plomada. Se realizó el curado según lo indicado en la norma E-070.

Luego se colocó una capa de yeso de 20 mm aproximadamente en la parte inferior y superior para uniformizar la superficie de contacto en el dispositivo del ensayo de compresión axial. El ensayo de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad.

a.2. Montaje e instrumentación

Se registraron el peso de las pilas, con una balanza electrónica de 30 Kg, con aproximación 0.01 g, luego se midió la altura (H) y el espesor efectivo (t).

Se colocaron manualmente en la maquina universal para ensayos con acero, aplicándose la carga, leyéndose en el dial de carga cada 200 Kg, y con la ayuda de un deflectómetro se registraron las deformaciones, para obtener las gráficas esfuerzo vs. deformación unitaria.

a.3.Cálculo de la resistencia a compresión axial.

Se registraron la carga máxima y la resistencia a compresión axial, se calculó de la siguiente manera.

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{\acute{A}rea} \quad (8)$$

Dónde:

f_m : Resistencia a compresión axial de pilas (Kg/cm²)

$P_{m\acute{a}x}$: Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

$\acute{A}rea$: Área bruta transversal a la fuerza (cm²)

Luego se corrigieron f_m según el factor de corrección por esbeltez de la pila, expresados en la tabla 34 y 35

El factor resultó de interpolar la esbeltez que indica la norma E-070.

Se calculó la resistencia característica restando la desviación estándar a la resistencia promedio. Ver tablas 34 y 35.

$$f'_m = f_m - \sigma \quad (9)$$

Dónde:

f_m : Resistencia a compresión de pilas (Kg/cm²)

f'_m : Resistencia característica a compresión (Kg/cm²)

σ : Desviación estándar.

Las pilas de ladrillo fabricado artesanalmente presentaron grietas verticales en las caras frontales principalmente (Foto. 9 del Anexo B)

a.4. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas (E_m)

Se colocó un deformímetro en la máquina de tracción universal de acero, para medir las deformaciones totales cada 200 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo y altura encontradas anteriormente, con los 3 pilas ensayadas de cada tipo y con los datos obtenidos se procedieron a dibujar la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada muestra de ladrillo.

Para calcular el módulo de elasticidad se asumieron de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria, tomando el 50% del esfuerzo y restando al 10 % del mismo, dividido al 50 % de la deformación unitaria menos el 10 %, esto se debe a que por razones de seguridad y precisión en los ensayos se obvia la parte inicial del ensayo (10%) porque las deformaciones obtenidas son del yeso, y se toma el 50 %, debido a que las pilas contienen cemento y en este elemento se considera que el primer 50 % es elástico lineal.

Por lo descrito anteriormente la formula a utilizar para el cálculo del módulo de elasticidad es el siguiente:

$$E_m = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%})/L_1} \quad (10)$$

Dónde:

$P_{50\%}$ y $P_{10\%}$: Carga axial al 50% y al 10%.
 $\epsilon_{50\%}$ y $\epsilon_{10\%}$: Deformación al 50% y al 10%.
 A : Área de la sección transversal.
 L_i : longitud inicial.
 E_m : Módulo de elasticidad.

En resumen:

$$E_m = \frac{\delta}{\epsilon} \quad (11)$$

Dónde:

E_m : Modulo de elasticidad.

δ : $\sigma' (50\%) - \sigma' (10\%)$: 50% menos el 10 % del esfuerzo.

ϵ : $\epsilon' (50\%) - \epsilon' (10\%)$: 50% menos el 10 % de la deformación Unitaria.

b. Muretes

b.1. Procedimiento de construcción

Se construyeron 4 especímenes de 1.00 * 1.00 m, 2 muretes de ladrillo de la muestra 1 y 2 muretes de ladrillo de la muestra 2, con un espesor de mortero de 12 mm y 15 mm, debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regaron las unidades por media hora el mismo día antes del asentado. Para el diseño del mortero encuentran los valores analíticamente, con las proporciones indicadas en la norma E-070, para muros portantes. Mortero tipo P2 = 1:4 (cemento: arena).

Al momento de la construcción se controlaron la verticalidad con un nivel y plomada. Se realizaron, el curado según lo indicado en la norma E-070.

Luego se colocó una capa de yeso de 20 mm aproximadamente en la parte inferior y superior para uniformizar la superficie de contacto en el dispositivo del ensayo de compresión diagonal. El ensayo a compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 28 días de edad. Luego de construir los muretes se colocaron una capa de yeso de 2 mm aproximadamente en las esquinas opuestas con la finalidad de uniformizar la superficie de

contacto con los cabezales del dispositivo de ensayo. Los muretes se ensayaron cuando cumplieron 28 días de edad.

b.2. Peso volumétrico de la albañilería

Se registraron los pesos de cada murete, se realizaron mediante una balanza con capacidad de 300 Kg, con una aproximación de 0.01 g; los resultados se expresan en la tabla 16

b.3. Instrumentación y montaje

Los muretes se transportaron manualmente y con cuidado hasta la maquina universal con péndulo.

Luego colocamos el murete con los ángulos de acero en los extremos, debidamente plomado con el péndulo de la maquina universal, se colocaron con cuidado los ángulos "L" en el muro y anexados a soportes universales se colocó un deflectómetro para poder medir la deformación horizontal y una hoja milimetrada para la horizontal. Se empezó aplicar la carga a una velocidad de 25 Ton/min.

b.4. Calculo de la resistencia al corte en muretes

La resistencia al corte puro resultó de dividir la carga máxima entre el área diagonal comprimida.

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d} \quad (12)$$

Dónde:

v_m : Resistencia al corte del murete (Kg/cm²)

P máx. : Carga máxima que resiste el murete (Kg)

A_d : Área diagonal (diagonal del murete x espesor)
(cm²)

La resistencia característica (v'_m) es la resistencia al corte promedio menos una desviación estándar (norma E-070).

$$v'_m = v_m - \sigma \quad (13)$$

Dónde:

v_m : Resistencia al corte (Kg/cm²).

v'_m : Resistencia característica al corte (Kg/cm²).

σ : Desviación estándar.

Los resultados se expresan en la tabla 39 y 40

Los muretes de ladrillo fabricado artesanalmente, tuvieron una falla violenta y frágil, por falta de confinamiento, la grieta cruzó el ladrillo y el mortero, formándose el abanico de tracción diagonal en los ángulos (Foto. 11 del anexo B).

b.5. Calculo del Módulo de corte (Gm)

Se colocó un deformímetro para medir la deformación horizontal y hoja de papel milimetrado con ayuda de un nivel de ingeniero para medir la deformación vertical cada 200 kg de carga aplicada para cada una de las unidades de albañilería, con las dimensiones de ancho, largo, altura y diagonales encontradas anteriormente, con los 2 muros ensayadas de cada ladrillera, se procedieron a dibujar la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, haciendo un diagrama de dispersión para cada tipo de ladrillo.

Para calcular el módulo de corte se asumió de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria horizontal y vertical, tomando el 50% del esfuerzo y restado al 10 % del mismo, dividido al 50 % de la deformación unitaria menos el 10 %, esto se debe a que por razones de seguridad y precisión en los ensayos se obvia la parte inicial del ensayo (10%) porque las deformaciones obtenidas son del yeso, y se toma el 50 %, debido a que las pilas contienen cemento y en este elemento se considera que el primer 50 % es elástico lineal. Por lo descrito anteriormente la formula a utilizar para el cálculo del módulo de corte es el siguiente:

$$Gm = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%}) / A_{diagonal}}{(\epsilon_{H50\%} - \epsilon_{H10\%}) / LH_t + (\epsilon_{V50\%} - \epsilon_{V10\%}) / LV_t} \quad (14)$$

Dónde:

$P50\%$ y $P10\%$: Carga axial al 50% y al 10%.
$\epsilon H50\%$ y $\epsilon H10\%$: Deformación horizontal al 50% y al 10%.
$\epsilon V50\%$ y $\epsilon V10\%$: Deformación vertical al 50% y al 10%.
Adiagonal	: Área diagonal.
LHi y LVi	: longitud inicial horizontal y vertical respectivamente

En resumen:

$$Gm = \frac{\delta}{\epsilon V + \epsilon H} \quad (15)$$

Dónde:

Gm	: Modulo de corte.
$\epsilon V: \epsilon_{uv}(50\%) - \epsilon_{uv}(10\%)$: 50% menos 10% de la deformación vertical
$\epsilon H: \epsilon_{uH}(50\%) - \epsilon_{uH}(10\%)$: 50% menos 10% de la deformación horizontal

E. Diseño analítico del mortero.

El diseño de mortero se realizaron analíticamente, con los datos obtenidos de la granulometría del agregado fino de la cantera el Gavilán, propiedades físicas del agregado fino, cemento portland tipo I (bolsa verde) y agua. De acuerdo a la norma E-070, se diseñó para muros portantes por lo que, el mortero es el tipo P2, en proporciones de 1:0:4 (cemento: cal: arena). Ver diseño de mortero en el Anexo A – 8.2.

a. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión f_c se determinaron dividiendo la carga de rotura entre el área bruta en los testigos cilíndricos de 5.08 cm de diámetro y 10 cm de altura; y la resistencia a compresión característica del mortero f'_c se obtuvieron restando una desviación estándar al promedio de los resultados.

$$f_c = \frac{\text{Carga Máx}}{\text{Área Bruta}}$$

$$f'_c = f_c - \sigma$$

Dónde:

f'_c	: Resistencia a la compresión característica.
f_c	: Resistencia a la compresión promedio
σ	: Desviación estándar.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ENSAYADAS.

- ✓ El ladrillo fabricado artesanalmente en Cajabamba de las ladrilleras Romero y Córdoba, no cumplieron con las dimensiones que el fabricante menciona al momento de la venta (21*12*8 cm), tampoco alcanzaron la resistencia característica a la compresión.

Tabla. 8 Características de las muestras de los ladrillos artesanales de Cajabamba

Características	Muestra de la ladrillera Romero	Muestra de la ladrillera Córdoba
Tipo	King kong sólido	King kong sólido
Dimensiones	20.94x12.05x7.9 cm	21.34x12.38x8.17 cm
Número de probetas ensayadas	30	30
Peso	3.04 kg	3.35 kg
Resistencia característica a la compresión (f_b)	6.22 MPa (63.47 kg/cm ²)	6.42 MPa (65.51g/cm ²)
Desviación estándar (σ)	0.29 MPa (2.97 kg/cm ²)	0.29 MPa (3 kg/cm ²)
Coefficiente de variación (cv)	4.68 %	4.58 %

4.2. ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO.

4.2.1. Variación dimensional

- ✓ De la tabla 9 se deduce que la muestra de la ladrillera Romero tiene una variación dimensional de 1.24 % respecto a las medidas indicadas (21*12*8 cm) por el fabricante al momento de la compra, teniendo un c.v. de 1.86 %.
- ✓ Además expresan que la muestra de la ladrillera Córdoba, presenta una variación dimensional del 3.17 %, respecto a las medidas indicadas (21*12*8 cm), al momento de la compra. teniendo un c.v. de 0.78 %.
- ✓ Según la norma E-070 las dos muestras tienen un porcentaje menor al máximo indicado para un ladrillo, por lo que se clasifica como un ladrillo clase IV. El proceso de cálculo se encuentra el Anexo A

Tabla. 9 Resultados del ensayo de variación dimensional.

Muestra de la ladrillera Romero			
Característica	Largo	Ancho	Alto
Medida brindada por el fabricante	L=210 mm	A=120 mm	H=80 mm

Desviación estándar (σ)	$\sigma = 2.54$	$\sigma = 1.50$	$\sigma = 1.47$
Medias promedio	209.42 mm	120.55 mm	79.1 mm
Coefficiente de variación (c.v.)	1.21 %	1.25 %	1.86 %
Variación dimensional	0.28 %	-0.46 %	1.24 %

Muestra de la ladrillera Córdoba

Característica	Largo	Ancho	Alto
Medida brindada por el fabricante	L=210 mm	A=120 mm	H=80 mm
Desviación estándar (σ)	$\sigma = 1.26$	$\sigma = 0.97$	$\sigma = 0.84$
Medias promedio	213.39 mm	123.80 mm	81.70 mm
Coefficiente de variación (c.v.)	0.59 %	0.78 %	1.03 %
Variación dimensional	-1.61 %	-3.17 %	-2.13 %

4.2.2. Alabeo

Podemos observar la tabla 10 que el ladrillo fabricado artesanalmente. Cumplieron con lo recomendado en la norma E – 070 para un ladrillo de clase V por ende, los muros tendrán el espesor adecuado de mortero, lo cual no afectara a la resistencia ya que por cada centímetro de junta adicional de mortero, la resistencia baja un 15 % en el muro de albañilería. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A

Tabla. 10 Resultados del ensayo de alabeo.

Muestra de la ladrillera Romero	
Cóncavo	1.20
Convexo	0.48
Muestra de la ladrillera Córdoba	
Cóncavo	1.27
Convexo	0.47

4.2.3. Compresión simple

Se puede observar en la tabla 11, la muestra de la ladrillera Romero tiene una resistencia a la compresión simple de 6.22 Mpa (63.47 kg/cm²) y la muestra de la ladrillera Córdoba, tiene una resistencia a las compresión simple de 6.42 Mpa (65.51 kg/cm²), clasificando dichos valores como ladrillo de clase I, según la norma E – 070

De los valores anteriores, los ladrillos tuvieron esa resistencia a la compresión simple, esto se debe a que el ladrillo es elaborado de forma artesanal, de forma empírica sin respetar las normas y por las variaciones de unidad a unidad. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A

Tabla. 11 Resultados de los ensayos de compresión

Muestra de la ladrillera Romero		
Característica	Mpa	Kg/cm²
Resistencia a la compresión promedio (fb)	6.51	66.43
Desviación estándar (σ)	0.29	2.97
Resistencia a la compresión (fb)	6.22	63.47
Coefficiente de variación (c.v.) %	4.68	4.68
Muestra de la ladrillera Córdoba		
Característica	Mpa	Kg/cm²
Resistencia a la compresión (fb)	6.72	68.51
Desviación estándar (σ)	0.29	3.00
Resistencia a la compresión (fb)	6.42	65.51
Coefficiente de variación (c.v.) %	4.58	4.58

A. Módulo de elasticidad (Eb)

De la tabla 12 podemos observar que los módulos de elasticidad son menores con respecto a los teóricos en 95.47% para la muestra de la ladrillera Romero y 94.72% para la muestra de la ladrillera Córdoba, lo que nos indica que estas unidades son frágiles. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

Tabla. 12 Resultados de módulos de elasticidad de unidades de ladrillo artesanal

Muestra	Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm²) práctica	Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm²) teórica	Diferencia teórica y práctica (%)
M1	1150.6	25386	95.47
M2	1384.2	26204	94.72

M1: Ladrillo artesanal (ladrillera Romero) M2: Ladrillo artesanal (ladrillera Córdoba)

4.3. ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DE LADRILLO

4.3.1. Ensayo de succión

La norma E- 070 especifica que la succión de los ladrillos de arcilla debe estar comprendido entre los 10 y 20 gr/cm² – min. Cuando excede este valor se necesita regar a los ladrillos de arcilla durante 30 minutos, entre 10 a 15 horas antes de ser asentados.

De la tabla 13, se observa que los valores de la muestra de la ladrillera Romero y la muestra de la ladrillera Córdoba, tienen valores que sobrepasan lo señalado por la norma E-070, por lo que debe regarse 30 minutos un día antes de ser asentados. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

Tabla. 13 Resultados del ensayo de Succión.

Muestra de la ladrillera Romero	
Succión promedio	39.49
Desviación estándar (σ)	6.91
Coefficiente de variación (c.v.)	17.51 %
Muestra de la ladrillera Córdoba	
Succión promedio	32.68
Desviación estándar (σ)	5.68
Coefficiente de variación (c.v.)	17.39 %

4.3.2. Ensayo de absorción

La norma E -070, señala que la absorción para ladrillos de arcilla no debe ser mayor de 22%. De la tabla 14 se observa: Absorción de la muestra de la ladrillera Romero: 16.72 % < 22 %. Absorción de la muestra de la ladrillera Córdoba 2: 15.52 % < 22%

Por lo tanto las dos muestras de ladrillos cumplen con la norma E – 070 de albañilería; el proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

Tabla. 14 Resultados de ensayo de absorción de ladrillo

Muestra de la ladrillera Romero	
Absorción promedio (%)	16.72
Desviación estándar (σ)	1.34
Coefficiente de variación (c.v.)	8.03 %

Muestra de la ladrillera Córdoba	
Absorción promedio (%)	15.52
Desviación estándar (σ)	0.62
Coefficiente de variación (c.v.)	3.96 %

4.4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

4.4.1. Pilas

A. Ensayo a la resistencia a compresión Axial

La resistencia de las pilas de la muestra de la ladrillera Romero es $f'm = 17.30 \text{ kg/cm}^2$ y la muestra de la ladrillera Córdoba es $f'm = 18.77 \text{ kg/cm}^2$, las cuales no llegaron a la resistencia de $f'm = 55 \text{ kg/cm}^2$ establecida por la norma E-070 para ladrillo artesanal, cuyos resultados se muestran en la tabla 15

A la vez en el anexo A. se muestra las gráficas de ensayos de esfuerzo (σ) vs deformación unitaria (ϵ), la que nos permite determinar el módulo de elasticidad y el comportamiento ante la carga.

Tabla. 15 Resultados del ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas del ladrillo

Muestra de la ladrillera Romero	
Espécimen	Resistencia compresión (Kg/cm²)
PC-01	19.08
PC-02	18.35
PC-03	17.24
Promedio (fm)	19.40
Desviación estándar σ	0.93
Resistencia a la compresión (f'm)	17.30
Coefficiente de variación (c.v.)	5.09 %
Muestra de la ladrillera Córdoba	
Espécimen	Resistencia compresión (Kg/cm²)
PV-01	19.79
PV-02	18.67
PV-03	19.73
Promedio (fm)	19.40
Desviación estándar σ	0.63
Resistencia a la compresión (f'm)	18.77
Coefficiente de variación (c.v.)	3.25 %

B. Módulo de elasticidad en Pilas.....

Según las gráficas el módulo de elasticidad en pilas de ladrillo artesanal muestra de la ladrillera Romero tiene un valor de 1966.4 Kg/cm² y la muestra de la ladrillera Córdoba, tiene un valor de 1838.1 Kg/cm².

De esto se puede deducir que el módulo de elasticidad de las pilas ensayadas no llega al módulo de elasticidad teórica $E_m = 8.65E + 03$, establecida en la norma E-070. Lo que ocasionaría que no tenga un buen comportamiento ante las cargas sísmicas.

4.4.2. Muretes

A. Calculo del peso volumétrico de los muretes.

De la tabla 16: Estos resultados indican que los muretes de la muestra de la ladrillera Romero, tiene menor peso volumétrico respecto a los de la muestra de la ladrillera Córdoba, ya que el ladrillo de la primera ladrillera no es muy consistente y presenta vacíos en su interior. El proceso de cálculo se encuentra en el Anexo A.

Tabla. 16 Resultados del peso volumétrico de muretes de ladrillo.

Ladrillo de arcilla	Espécimen	Peso (Kg)	L (mm)	A (mm)	t (mm)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (Ton/m ³)	Promedio (Tn/m ³)
Ladrillera Romero	MC-01	189.86	1005	1002	121	0.122	1.56	1.52
Ladrillera Córdoba	MC-02	181.95	1006	1001	122	0.123	1.48	
Ladrillera Córdoba	MV-01	218.51	1011	1001	121	0.122	1.78	1.73
Ladrillera Romero	MV-02	209.48	1008	1005	123	0.125	1.68	

B. Ensayo a la resistencia al corte de los muretes.

De la tabla 17. La resistencia promedio v'_m al corte de los muretes del ladrillo de la muestra ladrillera Romero es $v'_m = 2.40 \text{ kg/cm}^2$ y la muestra de la ladrillera Córdoba es de $v'_m = 3.76 \text{ kg/cm}^2$; el ladrillo totalmente solido aporta al esfuerzo cortante una mayor resistencia durante el ensayo cuando la grieta recorre el ladrillo por su mayor área de corte.

En el anexo A, se muestra las gráficas de los ensayos esfuerzo (σ) vs deformación (ϵ) y el proceso de cálculo, lo que nos permite conocer el comportamiento ante la carga de los muretes y el módulo de corte de la albañilería.

Tabla. 17 Resultados de ensayos a la resistencia de corte de los muretes.

Muestra de la ladrillera Romero	
Espécimen	Resistencia al corte (Kg/cm²)
MC – 01	2.69
MC – 02	2.45
Promedio (vm)	2.57
Desviación estándar σ	0.17
Resistencia al corte (v'm)	2.40
Coefficiente de variación (c.v.)	6.55%
Muestra de la ladrillera Córdoba	
Espécimen	Resistencia al corte (Kg/cm²)
MV – 01	3.77
MV – 02	3.86
Promedio (vm)	3.82
Desviación estándar σ	0.06
Resistencia al corte (v'm)	3.76
Coefficiente de variación (c.v.)	1.64

C. Módulo de corte en muretes (Gm)

Según las gráficas el módulo de corte de los muretes del ladrillo artesanal de la muestra de la ladrillera Romero tiene un valor de 428.77 Kg/cm² y la muestra de la ladrillera Córdoba, tiene un valor de 786.54 Kg/cm².

D. Comparación de las resistencias de pilas y muretes

Para analizar las resistencias entre pilas y muretes se debe tener en cuenta que la norma E – 070 relaciona el módulo de elasticidad (E_m) de la albañilería con la resistencia a la compresión (f'_m), de la siguiente manera: Para ladrillos de arcilla:

$$E_m = 500 f'_m$$

También, se debe tener en cuenta que la norma E – 070 relaciona el módulo de corte (G_m) de la albañilería con el módulo de elasticidad (E_m)

$$G_m = 0.4 * E_m$$

Tabla. 18 Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos del f'_m , E_m y G_m

Unidades de albañilería	Ensayos de laboratorio			Según NTP - 070		Diferencias entre cálculos prácticos y teóricos	
	f_m (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	G_m (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	G_m (kg/cm ²)	E_m (%)	G_m (%)
Ladrillera Romero	17.30	1.97E+03	0.428E+03	8.65E+03	3.46E+03	77.23	87.63
Ladrillera Córdoba	18.77	1.84E+03	0.786E+03	9.39E+03	3.75E+03	48.66	79.04

La máxima resistencia del murete está en función de la resistencia a la compresión ($\sqrt{f'_m}$), para efectos de diseño, se debe utilizar el valor mínimo de v'_m o $\sqrt{f'_m}$. Podemos observar en la tabla 19, que los ladrillos no sobrepasan el valor máximo, por lo que v'_m es menor que el valor de $\sqrt{f'_m}$.

El módulo de corte G_m , muestra el estado límite de importancia cuando se produce la primera fisura diagonal y cuando se alcanza la resistencia máxima del muro, ya que la falla fue violenta y frágil por falta de confinamiento.

Tabla. 19 Análisis de resistencia al corte.

Unidades de albañilería	Ensayos de laboratorio		Según NTP - 070	V'_m diseño kg/cm ²
	V'_m (kg/cm ²)	f_m (kg/cm ²)	$V'_m \text{ máx} = \sqrt{f_m}$ kg/cm ²	
Ladrillera Romero	2.40	17.30	5.80	2.40
Ladrillera Córdoba	3.76	18.77	7.95	3.76

Los esfuerzos v'_m obtenidos en el laboratorio para los muertes del ladrillo de Cajabamba es menor que lo considerado en la norma E – 070 para efectos de diseño, pero con la finalidad de tomar un rango de amplitud y/o seguridad, se debe considerar que $v'_m \text{ diseño} \leq v'_m \text{ de actuante}$, con el propósito de evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes.

4.5. MORTERO.

4.5.1. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero.

De la tabla 20 nos indica que ha tenido una resistencia mayor a 140 Kg/cm². cumpliendo con el diseño, el cual ha contribuido en el aumento de la resistencia axial en las pilas.

Tabla. 20 Resultados de los ensayos de compresión del mortero.

Mortero tipo P2 (1:0:4)		
Característica	Mpa	Kg/cm²
Resistencia a la compresión promedio (f _c)	16.60	169.23
Desviación estándar (σ)	0.82	8.36
Resistencia a la compresión (f'c)	15.78	160.87
Coefficiente de variación (c.v.) %	4.94 %	4.94 %

4.6. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.

Se verifica que el ladrillo de arcilla cocida elaborado artesanalmente en la ciudad de Cajabamba, se clasifco como ladrillo de tipo I según la resistencia a compresión y según su alabeo y variación dimensional se clasifica como un tipo IV y V respectivamente según la norma E-070. El ladrillo artesanal de Cajabamba se clasifica como un ladrillo de tipo I.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.1. CONCLUSIONES

1. La variación dimensional de la muestra de la ladrillera Romero, presenta una variación dimensional del 1.24 % con un coeficiente de variación 1.86 % y de la muestra de la ladrillera Córdoba, presenta una variación dimensional del 3.17 %, con un coeficiente de variación 0.78 %. Consecuentemente ambos tipos se clasifican como un ladrillo tipo IV en la norma E- 070.
2. El valor promedio del alabeo de la muestra de la ladrillera Romero es de convexo: 1.20 mm y cóncavo: 0.48 mm; de la muestra de la ladrillera Córdoba es de convexo: 1.27 mm y cóncavo: 0.47 mm, ocasionan anomalías geométricas en la junta horizontal y vertical, aumentando de espesor en algunos puntos y disminuyendo la resistencia del muro. Se clasifican ambas muestras como un ladrillo tipo V en la norma E- 070.
3. La resistencia característica a la compresión axial promedio de la muestra de la ladrillera Romero es 6.22 Mpa o 63.47kg/cm² con coeficiente de variación de 4.68% y de la muestra de la ladrillera Córdoba es 6.42 Mpa o 65.51 kg/cm² con coeficiente de variación de 4.58%, clasificándose según la norma E-070 como ladrillo tipo I. Esto se debe a que el ladrillo es elaborado de forma artesanal, empíricamente sin respetar la normas y tiene variaciones significativas de unidad a unidad
4. El valor promedio del módulo de elasticidad, de la muestra de la ladrillera Romero es de $E_b=1150.6 \text{ kg/cm}^2$ y de la muestra de la ladrillera Córdoba es de $E_b=1384.2 \text{ kg/cm}^2$, no llegando a los módulos de elasticidad teóricos 25386 kg/cm² y 26204 kg/cm² teniendo diferencias de 95.47 % y 94.72 % respectivamente de las muestras; lo que ocasiona que el ladrillo tenga una baja tenacidad y rigidez.
5. El valor promedio de la succión de la muestra de la ladrillera Romero es 39.49 gr/cm² – min y la muestra de la ladrillera Córdoba es 32.68 gr/cm² – min, ambas muestras no se encuentran en el rango comprendido entre los 10 y 20 gr/cm² – min que especifica la norma E-070, por lo que se deberá regar duran 30 min a los ladrillos, entre 10 a 15 horas antes de ser asentados.
6. El valor promedio de la absorción de la muestra de la ladrillera Romero es 16.72 % con un coeficiente de variación de 8.03 % y de la muestra de la

ladrillera Córdoba es de 15.52 % con un coeficiente de variación de 3.96 % , son menores a 22 %, por lo que cumple con lo recomendado por la norma E-070

7. Las pilas construidas, tuvieron una resistencia promedio a la compresión hechas con ladrillo de la muestra de la ladrillera Romero es de 1966.4 kg/cm² con un c.v. 5.09 % y de la muestra de la ladrillera Córdoba es de 1838.1 kg/cm² con un c.v. 3.25 %. Las pilas ensayadas tiene un módulo de elasticidad menor a lo indicado en la norma E-070 cuyo valor teórica $E_m = 8.65E + 03$. Lo que ocasiona un mal comportamiento ante las cargas dinámicas.
8. La resistencia al corte promedio en muretes construidos con la muestra de la ladrillera Romero es es de 2.40 kg/cm² con un c.v. 6.55% y de la muestra de la ladrillera Córdoba es 3.76 kg/cm² con un c.v. 1.64 %, que son menores a lo sugerido, consecuentemente no soportan cargas dinámicas.
9. El módulo de elasticidad $E_m=1.97E+03$ kg/cm² y el módulo de corte $G_m= 4.28E+02$ kg/cm² de la muestra de la ladrillera Romero y el módulo de elasticidad $E_m=1.84E+03$ kg/cm²) y el módulo de corte $G_m= 7.86E+02$ kg/cm² de la muestra de la ladrillera Córdoba, estos valores hacen que los ladrillos no tengan una buena respuesta a eventos sísmicos.
10. Los muretes fabricados, presentaron una falla violenta y frágil, por falta de confinamiento, tiene una falla diagonal de naturaleza súbita y frágil. Estas muestras han tenido el comportamiento semejante a la de una estructura no confinada ante sollicitaciones sísmicas por tracción diagonal.

5.2. RECOMENDACIONES

1. En Cajabamba existen pocas ladrilleras artesanales lo que se recomienda hacer un estudio detallado de cada una de ellas, para tener una base de datos del comportamiento del ladrillo producido por cada ladrillera y tener mejor referencia ~~a la hora de construir.~~ *ahora de construir.*
2. Siendo la albañilería una investigación tan ambiciosa y buscando siempre una mejora continua, se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en este campo, complementar con estudios de muros reales para obtener la rigidez lateral de este.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



- Aguirre, D. 2004. Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central Junín. Tesis Mg. Sc. Lima, PUCP.
- Ángeles, P. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla. Tesis Ing. Civil, PUCP.
- Fernández, K. 2010. Estudio de la influencia del tipo de arcilla en las características técnicas del ladrillo. Santa Bárbara – Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, UNC.
- INDECOPI 1978. Norma técnica ITINTEC 331.017. Elementos de arcilla cocida. Lima, Perú.
- INDECOPI 2002. NTP 399.604. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Lima, Perú.
- Norma técnica E.070 – ALBAÑILERÍA. 2013.
- San Bartolomé, A y Morante, A. 2008, Mejora de la adherencia mortero-ladrillo de concreto. Tesis Ing. Civil, PUCP.
- San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de albañilería – Comportamiento
- Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados – efectos del refuerzo. Lima PUCP.
- Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a la compresión axial. Lima. PUCP.
- San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú, Fondo Edit. PUCP, 246 p.
- San Bartolomé, A, 2005. COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA - INFORME FINAL (Capítulos 1 a 10). Lima, SENCICO. 147 p.
- San Bartolomé, A; Ángeles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados construidos con ladrillos de concreto y de arcilla cocida. Lima, PUCP.
- Seminario, R, 2013. Variabilidad de las propiedades de los ladrillos industriales de 18 huecos en la ciudad de Piura. Piura. UDP.

ANEXOS



Anexo A. Procesamientos de datos

1. Cálculo de la variación dimensional del ladrillo.

Tabla. 21 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Romero

Especimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom
MC-01	220	211	212	209	213.0	120	120.8	121.7	121.5	121.0	77.8	77.2	77	79.8	77.95
MC-02	206	208	209	211	208.5	118.5	119.4	120.4	121	119.8	78.4	79	79.2	80.4	79.25
MC-03	207	204	213	206	207.5	118.3	118.5	119.3	119.5	118.9	78.3	78.5	77.6	78.5	78.23
MC-04	209	210	208	211	209.5	120.1	120	122	122.5	121.2	80.5	81	79	79.6	80.03
MC-05	209	208	210	211	209.5	119.3	120.5	122	120.7	120.6	77.4	77.2	77	80.9	78.13
MC-06	208	206	209	210	208.3	118.7	117.2	120	119.8	118.9	77.8	80.3	77.6	79.8	78.88
MC-07	211	209	206	210	209.0	121.3	121.3	124.4	121.2	122.1	79	80.8	80.3	79.7	79.95
MC-08	214	216	215	214	214.8	120.4	117	122.3	120.2	120.0	80	82.4	82	81	81.35
MC-09	208	207	211	207	208.3	121	122.5	121	122	121.6	79.8	79.9	78.4	80.2	79.58
MC-10	209	208	210	211	209.5	117	122.4	123.2	121	120.9	80.3	79.8	78.9	77	79.00
MC-11	209	210	208	208	208.8	120.2	118.2	109.2	119	116.7	77.8	77.3	78	77.5	77.65
MC-12	208	208	206	207	207.3	120.4	119.5	120.8	123	120.9	79	77.2	79.4	81.8	79.35
MC-13	215	214	217	214	215.0	122.5	122.3	121.9	121.6	122.1	79.2	80.5	82.7	81.3	80.93
MC-14	206	204	203	204	204.3	119.4	117.7	119.8	120.5	119.4	74.2	79.3	75.8	78.4	76.93
MC-15	206	207	208	212	208.3	117.5	117.3	121	118.3	118.5	78.8	79.4	76	76	77.55
MC-16	211	208	207	209	208.8	118.5	119.9	121.4	122	120.5	80.9	78	82	77.6	79.63
MC-17	209	209	207	206	207.8	120	122.1	122	121.9	121.5	79.6	80.4	77.4	80.9	79.58
MC-18	207	207	210	209	208.3	121.7	119.4	111.8	122.6	118.9	78.6	79.5	76.5	79.2	78.45
MC-19	209	208	207	214	209.5	119.5	119	120.8	121.8	120.3	79.7	78.4	78.6	74.5	77.80
MC-20	211	209	212	216	212.0	122	122.6	126	125	123.9	82.2	82.5	81.8	78	81.13
MC-21	210	209	206	209	208.5	119.1	119.7	121.3	119.8	120.0	79.9	80.1	79	78	79.25
MC-22	212	210	208	210	210.0	121.6	119.9	121.4	122.9	121.5	79.9	81	78.9	79.9	79.93
MC-23	212	211	210	214	211.8	120.9	122.8	122.6	122.6	122.2	76.1	75.8	75.1	77	76.00
MC-24	211	210	207	203	207.8	122.5	121.4	123	122.1	122.3	82.7	88.1	80.1	81.4	83.08
MC-25	207	209	206	205	206.8	119	119.7	126.5	122.3	121.9	80.1	75.1	79.3	77.5	78.00
MC-26	208	209	210	209	209.0	117.1	118	118.9	120.7	118.7	76.9	79.3	78.9	77	78.03
MC-27	212	219	208	211	212.5	119.9	120.8	119.3	119.5	119.9	78.3	78.5	79	80.5	79.08
MC-28	204	206	206	204	205.0	118.5	118	120.9	119.7	119.3	77.9	78.1	79	74.4	77.35
MC-29	209	211	212	209	210.3	121	121.9	120.5	123	121.6	81.6	79.5	79.2	80	80.08
MC-30	212	215	213	214	213.5	121.6	122.4	121.1	122.3	121.9	77.4	80.4	77.5	77.1	78.10
Medidas del fabricante				L	200				A	120.00				H	80.00
Desviación estándar				σ	2.54				σ	1.50				σ	1.47
Dimensión promedio (mm)				\bar{L}	209.42				\bar{A}	120.55				\bar{H}	79.01
Variación dimensional (V%)				%	-4.71%				%	-0.46%				%	1.24%
Coefficiente de variación				c.v.	1.21%				c.v.	1.25%				c.v.	1.86%

Tabla. 22 Ensayo de variación dimensional de la muestra de la ladrillera Córdoba

Especimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom
MV-01	212	212	212.5	214	212.63	122.8	122.3	122.6	125.6	123.33	82.6	82.7	81.2	81.5	82.00
MV-02	211.5	222	215	215	215.88	125.0	123.2	125.8	125.8	124.91	82.3	82.2	82.2	82.7	82.33
MV-03	212	211.5	218	216	214.38	123.2	124.4	128.6	127.8	125.95	79.6	83.8	82.7	83.0	82.25
MV-04	210	211	214	215	212.50	122.6	123.7	128.1	125.0	124.85	79.7	80.0	81.3	83.3	81.08
MV-05	211	212	217	216	214.00	123.5	121.3	126.1	124.4	123.83	85.0	79.0	80.3	83.0	81.83
MV-06	212	211	213	214	212.50	127.0	121.6	125.4	126.0	125.00	82.6	83.5	78.7	82.4	81.80
MV-07	211	218	213	216	214.50	123.0	122.1	124.6	124.1	123.45	80.3	83.5	78.9	83.0	81.41
MV-08	213	214	215	216	214.50	123.0	121.5	122.0	125.0	122.88	80.0	79.5	82.6	83.1	81.30
MV-09	211	211	216	214	213.00	122.8	121.5	125.0	126.1	123.85	83.5	80.9	79.1	78.7	80.55
MV-10	211	212	215	216	213.50	123.1	122.7	125.4	124.4	123.90	83.0	83.2	81.1	80.6	81.98
MV-11	211	212	219	217	214.75	122.9	123.3	125.9	126.3	124.60	84.6	81.9	83.9	82.2	83.15
MV-12	209	208	211	211	209.75	119.6	119.7	124.9	123.4	121.90	80.1	81.5	81.7	81.1	81.10
MV-13	213	212	217	218	215.00	122.7	122.8	125.9	125.6	124.25	82.9	83.0	82.1	80.5	82.13
MV-14	212	211	218	213	213.50	122.5	122.1	124.6	126.0	123.80	81.1	80.5	80.9	82.6	81.28
MV-15	213	212	216	216	214.25	122.2	119.9	124.4	124.9	122.85	81.1	83.7	83.0	83.7	82.88
MV-16	212	212	216	217	214.25	121.6	120.8	125.5	122.8	122.68	84.4	83.2	82.1	81.9	82.90
MV-17	209	211	217	215	213.00	122.1	120.7	123.6	126.5	123.23	78.8	80.9	81.1	81.2	80.50
MV-18	211	209	213	214	211.75	122.9	122.9	124.5	124.4	123.68	83.1	81.1	82.3	82.7	82.30
MV-19	213	213	210	214	212.50	123.1	122.1	126.1	125.6	124.23	81.1	81.1	83.2	84.2	82.40
MV-20	209	211	216	214	212.50	123.6	122.1	125.5	125.7	124.23	82.5	82.1	81.0	81.5	81.78
MV-21	209	210	217	214	212.50	121.1	122.0	122.1	126.1	122.83	82.1	80.3	80.2	79.9	80.63
MV-22	209	210	215	214	212.00	123.5	124.2	127.3	125.7	125.18	81.6	83.4	79.7	78.5	80.80
MV-23	212	211	214	216	213.25	123.1	125.0	127.3	126.3	125.43	81.2	87.0	82.9	83.3	83.60
MV-24	209	212	214	216	212.75	121.6	121.1	124.1	121.5	122.08	81.2	81.7	80.5	79.7	80.78
MV-25	210	212	216	217	213.75	120.5	122.5	127.0	123.8	123.45	83.3	82.6	81.9	81.2	82.25
MV-26	213	214	214	216	214.25	122.4	119.8	124.3	126.1	123.15	79.3	80.5	82.4	81.5	80.93
MV-27	213	213	217	218	215.25	123.1	124.2	125.3	124.6	124.30	80.7	82.4	83.2	80.5	81.70
MV-28	209	211	216	217	213.25	121.0	121.9	123.8	125.4	123.03	79.7	81.3	81.2	83.4	81.40
MV-29	212	212	217	215	214.00	121.6	122.2	125.9	126.2	123.98	82.9	80.9	82.1	81.6	81.88
MV-30	209	212	213	214	212.00	122.0	123.3	123.2	125.0	123.38	80.0	77.8	81.3	81.7	80.2
Medidas del fabricante				L	200				A	120.00				H	80.00
Desviación estándar				σ	1.26				σ	0.97				σ	0.84
Dimensión promedio (mm)					213.39					123.80					81.70
Variación dimensional (V%)				%	-6.69%				%	-3.17%				%	-2.13%
Coeficiente de variación				c.v.	0.59%				c.v.	0.78%				c.v.	1.03%

2. Cálculo del alabeo del ladrillo.

Tabla. 23 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Romero.

Especimen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	(mm)		(mm)	
MC-01	0.0	2.0	1.0	0.0
MC-02	1.0	0.0	2.0	0.0
MC-03	2.0	0.0	2.0	0.0
MC-04	0.0	1.0	1.0	0.0
MC-05	1.0	0.0	3.0	0.0
MC-06	1.0	1.0	2.0	0.0
MC-07	1.0	0.0	3.0	0.0
MC-08	1.0	0.0	2.0	0.0
MC-09	0.0	2.0	0.0	3.0
MC-10	2.0	0.0	3.0	0.0
MC-11	0.0	1.0	3.0	0.0
MC-12	1.0	0.0	2.0	0.0
MC-13	0.0	1.0	1.0	0.0
MC-14	1.0	0.0	0.0	2.0
MC-15	0.0	0.0	2.0	0.0
MC-16	1.5	1.0	1.0	0.0
MC-17	0.0	0.0	3.0	0.0
MC-18	0.0	1.0	2.0	0.0
MC-19	1.0	2.0	1.0	0.0
MC-20	1.0	0.0	0.0	2.0
MC-21	1.0	0.0	3.0	0.0
MC-22	1.0	0.0	1.5	0.0
MC-23	0.0	2.0	1.0	1.0
MC-24	1.0	0.0	2.0	0.0
MC-25	1.0	0.0	2.0	0.0
MC-26	2.0	1.0	0.0	2.0
MC-27	0.0	1.0	2.0	0.0
MC-28	0.0	1.0	1.0	0.0
MC-29	1.0	0.0	0.0	2.0
MC-30	2.0	0.0	2.0	0.0
Promedio	Cóncavo	1.20		
	Convexo	0.48		

Tabla. 24 Ensayo de alabeo de la muestra de la ladrillera Córdoba

Especímen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	(mm)		(mm)	
MV-01	0.0	1.0	2.0	0.0
MV-02	1.0	0.0	1.0	0.0
MV-03	2.0	0.0	0.0	2.0
MV-04	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-05	1.0	0.0	0.0	2.0
MV-06	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-07	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-08	1.0	0.0	0.0	2.0
MV-09	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-10	1.0	0.0	3.0	0.0
MV-11	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-12	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-13	2.0	0.0	2.0	0.0
MV-14	0.0	0.0	1.0	0.0
MV-15	2.0	0.0	2.0	0.0
MV-16	2.0	0.0	0.0	3.0
MV-17	1.0	0.0	0.0	3.0
MV-18	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-19	0.0	3.0	2.0	0.0
MV-20	2.0	0.0	1.0	0.0
MV-21	1.0	0.0	0.0	2.0
MV-22	1.0	2.0	3.0	0.0
MV-23	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-24	1.0	0.0	0.0	2.0
MV-25	1.0	0.0	2.0	0.0
MV-26	0.0	2.0	3.0	0.0
MV-27	1.0	0.0	0.0	3.0
MV-28	2.0	0.0	3.0	0.0
MV-29	2.0	0.0	2.0	0.0
MV-30	0.0	1.0	1.0	0.0
Promedio	Cóncavo	1.27		
	Convexo	0.47		

3. Cálculo de la resistencia a compresión del ladrillo

Tabla. 25 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Romero

spécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Carga	Carga	Área	f'b	f'b
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	Máx. (tn)	Máx. (kN)	(m ²)	(Mpa)	(kg/cm ²)
MC-01	220	211	212	209	213	120	120.8	121.7	121.5	121	17.5	171.62	0.0258	6.66	67.90
MC-02	206	208	209	211	208.5	118.5	119.4	120.4	121	119.825	16.5	161.81	0.0250	6.48	66.04
MC-03	207	204	213	206	207.5	118.3	118.5	119.3	119.5	118.9	16.5	161.81	0.0247	6.56	66.88
MC-04	209	210	208	211	209.5	120.1	120	122	122.5	121.15	17.5	171.62	0.0254	6.76	68.95
MC-05	209	208	210	211	209.5	119.3	120.5	122	120.7	120.625	17.0	166.71	0.0253	6.60	67.27
MC-06	208	206	209	210	208.25	118.7	117.2	120	119.8	118.925	16.5	161.81	0.0248	6.53	66.62
MC-07	211	209	206	210	209	121.3	121.3	124.4	121.2	122.05	17.5	171.62	0.0255	6.73	68.60
MC-08	214	216	215	214	214.75	120.4	117	122.3	120.2	119.975	17.0	166.71	0.0258	6.47	65.98
MC-09	208	207	211	207	208.25	121	122.5	121	122	121.625	16.5	161.81	0.0253	6.39	65.14
MC-10	209	208	210	211	209.5	117	122.4	123.2	121	120.9	17.5	171.62	0.0253	6.78	69.09
MC-11	209	210	208	208	208.75	120.2	118.2	109.2	119	116.65	17.5	171.62	0.0244	7.05	71.87
MC-12	208	208	206	207	207.25	120.4	119.5	120.8	123	120.925	17.0	166.71	0.0251	6.65	67.83
MC-13	215	214	217	214	215	122.5	122.3	121.9	121.6	122.075	16.5	161.81	0.0262	6.17	62.87
MC-14	206	204	203	204	204.25	119.4	117.7	119.8	120.5	119.35	15.0	147.10	0.0244	6.03	61.53
MC-15	206	207	208	212	208.25	117.5	117.3	121	118.3	118.525	15.5	152.00	0.0247	6.16	62.80
MC-16	211	208	207	209	208.75	118.5	119.9	121.4	122	120.45	17.0	166.71	0.0251	6.63	67.61
MC-17	209	209	207	206	207.75	120	122.1	122	121.9	121.5	17.5	171.62	0.0252	6.80	69.33
MC-18	207	207	210	209	208.25	121.7	119.4	111.8	122.6	118.875	17.5	171.62	0.0248	6.93	70.69
MC-19	209	208	207	214	209.5	119.5	119	120.8	121.8	120.275	16.5	161.81	0.0252	6.42	65.48
MC-20	211	209	212	216	212	122	122.6	126	125	123.9	16.5	161.81	0.0263	6.16	62.82
MC-21	210	209	206	209	208.5	119.1	119.7	121.3	119.8	119.975	17.5	171.62	0.0250	6.86	69.96
MC-22	212	210	208	210	210	121.6	119.9	121.4	122.9	121.45	17.0	166.71	0.0255	6.54	66.65
MC-23	212	211	210	214	211.75	120.9	122.8	122.6	122.6	122.225	16.0	156.91	0.0259	6.06	61.82
MC-24	211	210	207	203	207.75	122.5	121.4	123	122.1	122.25	16.0	156.91	0.0254	6.18	63.00
MC-25	207	209	206	205	206.75	119	119.7	126.5	122.3	121.875	16.5	161.81	0.0252	6.42	65.48
MC-26	208	209	210	209	209	117.1	118	118.9	120.7	118.675	17.5	171.62	0.0248	6.92	70.56
MC-27	212	219	208	211	212.5	119.9	120.8	119.3	119.5	119.875	15.5	152.00	0.0255	5.97	60.85
MC-28	204	206	206	204	205	118.5	118	120.9	119.7	119.275	17.0	166.71	0.0245	6.82	69.53
MC-29	209	211	212	209	210.25	121	121.9	120.5	123	121.6	16.5	161.81	0.0256	6.33	64.54
MC-30	212	215	213	214	213.5	121.6	122.4	121.1	122.3	121.85	17.0	166.71	0.0260	6.41	65.35
	Resistencia a la compresión Promedio										fb	6.51 Mpa		66.43 kg/cm ²	
	Desviación estándar										σ	0.29 Mpa		2.97 kg/cm ²	
	Resistencia a la compresión										f'b	6.22 Mpa		63.47 kg/cm ²	
	Coeficiente de variación (%)										c.v.	4.68%		4.68%	

Tabla. 26 Ensayo de compresión de la muestra de la ladrillera Córdoba

Probeta	Largo (mm)					Ancho (mm)					Carga Máx. (tn)	Carga Máx. (kN)	Área (m ²)	f _b (Mpa)	f _b (kg/cm ²)
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom					
MV-01	212	212	213	214	212.63	122.8	122.3	122.6	125.6	123.33	17.0	166.71	0.0262	6.36	64.83
MV-02	212	222	215	215	215.88	125	123.2	125.8	125.8	124.91	18	176.52	0.0270	6.55	66.75
MV-03	212	212	218	216	214.38	123.2	124.4	128.6	127.8	125.95	18.5	181.42	0.0270	6.72	68.52
MV-04	210	211	214	215	212.50	122.6	123.7	128.1	125	124.85	17.5	171.62	0.0265	6.47	65.96
MV-05	211	212	217	216	214.00	123.5	121.3	126.1	124.4	123.83	18	176.52	0.0265	6.66	67.93
MV-06	212	211	213	214	212.50	127	121.6	125.4	126	125.00	18.5	181.42	0.0266	6.83	69.65
MV-07	211	218	213	216	214.50	123	122.1	124.6	124.1	123.45	19	186.33	0.0265	7.04	71.75
MV-08	213	214	215	216	214.50	123	121.5	122	125	122.88	17.5	171.62	0.0264	6.51	66.40
MV-09	211	211	216	214	213.00	122.8	121.5	125	126.1	123.85	16.5	161.81	0.0264	6.13	62.55
MV-10	211	212	215	216	213.50	123.1	122.7	125.4	124.4	123.90	17.5	171.62	0.0265	6.49	66.16
MV-11	211	212	219	217	214.75	122.9	123.3	125.9	126.3	124.60	18	176.52	0.0268	6.60	67.27
MV-12	209	208	211	211	209.75	119.6	119.7	124.9	123.4	121.90	17	166.71	0.0256	6.52	66.49
MV-13	213	212	217	218	215.00	122.7	122.8	125.9	125.6	124.25	18.5	181.42	0.0267	6.79	69.25
MV-14	212	211	218	213	213.50	122.5	122.1	124.6	126	123.80	18	176.52	0.0264	6.68	68.10
MV-15	213	212	216	216	214.25	122.2	119.9	124.4	124.9	122.85	19	186.33	0.0263	7.08	72.19
MV-16	212	212	216	217	214.25	121.6	120.8	125.5	122.8	122.68	17.5	171.62	0.0263	6.53	66.58
MV-17	209	211	217	215	213.00	122.1	120.7	123.6	126.5	123.23	18	176.52	0.0262	6.73	68.58
MV-18	211	209	213	214	211.75	122.9	122.9	124.5	124.4	123.68	17.5	171.62	0.0262	6.55	66.82
MV-19	213	213	210	214	212.50	123.1	122.1	126.1	125.6	124.23	19	186.33	0.0264	7.06	71.98
MV-20	209	211	216	214	212.50	123.6	122.1	125.5	125.7	124.23	19.5	191.23	0.0264	7.24	73.87
MV-21	209	210	217	214	212.50	121.1	122	122.1	126.1	122.83	19	186.33	0.0261	7.14	72.80
MV-22	209	210	215	214	212.00	123.5	124.2	127.3	125.7	125.18	18.5	181.42	0.0265	6.84	69.71
MV-23	212	211	214	216	213.25	123.1	125	127.3	126.3	125.43	17.5	171.62	0.0267	6.42	65.43
MV-24	209	212	214	216	212.75	121.6	121.1	124.1	121.5	122.08	18	176.52	0.0260	6.80	69.31
MV-25	210	212	216	217	213.75	120.5	122.5	127	123.8	123.45	19.5	191.23	0.0264	7.25	73.90
MV-26	213	214	214	216	214.25	122.4	119.8	124.3	126.1	123.15	19	186.33	0.0264	7.06	72.01
MV-27	213	213	217	218	215.25	123.1	124.2	125.3	124.6	124.30	19	186.33	0.0268	6.96	71.01
MV-28	209	211	216	217	213.25	121	121.9	123.8	125.4	123.03	18.5	181.42	0.0262	6.92	70.52
MV-29	212	212	217	215	214.00	121.6	122.2	125.9	126.2	123.98	17	166.71	0.0265	6.28	64.08
MV-30	209	212	213	214	212.00	122	123.3	123.2	125	123.38	17	166.71	0.0262	6.37	65.00
	Resistencia a la compresión promedio										f _b	6.72 Mpa		68.51 kg/cm ²	
	Desviación estándar										σ	0.29 Mpa		3.00 kg/cm ²	
	Resistencia a la compresión										f _b	6.42 Mpa		65.51 kg/cm ²	
	Coeficiente de variación (%)										c.v.	4.58%		4.58%	

3.1. Cálculo del módulo de elasticidad.

Tabla. 27 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Romero

Datos de la muestra de la ladrillera Romero

MC - 01				MC - 02			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.
0	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.0000	0.00
1000	0.30	0.0025	3.88	1000	0.20	0.0025	3.96
2000	0.57	0.0047	7.76	2000	0.51	0.0064	7.93
3000	0.95	0.0079	11.64	3000	0.81	0.0102	11.89
4000	1.27	0.0105	15.52	4000	0.98	0.0124	15.86
5000	1.59	0.0131	19.40	5000	1.20	0.0151	19.82
6000	1.97	0.0163	23.28	6000	1.40	0.0177	23.78
7000	2.21	0.0183	27.16	7000	1.70	0.0215	27.75
8000	2.41	0.0199	31.04	8000	2.10	0.0265	31.71
9000	2.67	0.0221	34.92	9000	2.36	0.0298	35.67
10000	2.98	0.0246	38.80	10000	2.74	0.0346	39.64
11000	3.24	0.0268	42.68	11000	2.81	0.0355	43.60
12000	3.57	0.0295	46.56	12000	3.12	0.0394	47.57
13000	3.81	0.0315	50.44	13000	3.53	0.0445	51.53
14000	4.12	0.0340	54.32	14000	3.63	0.0458	55.49
15000	4.32	0.0357	58.20	15000	3.97	0.0501	59.46
16000	4.51	0.0373	62.08	16000	4.12	0.0520	63.42
17000	4.73	0.0391	65.96	16500	4.21	0.0531	65.40
17500	4.87	0.0402	67.90				

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a compresión

Se procedió de la misma manera para los 28 especímenes restantes

Grafico. 1 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Romero

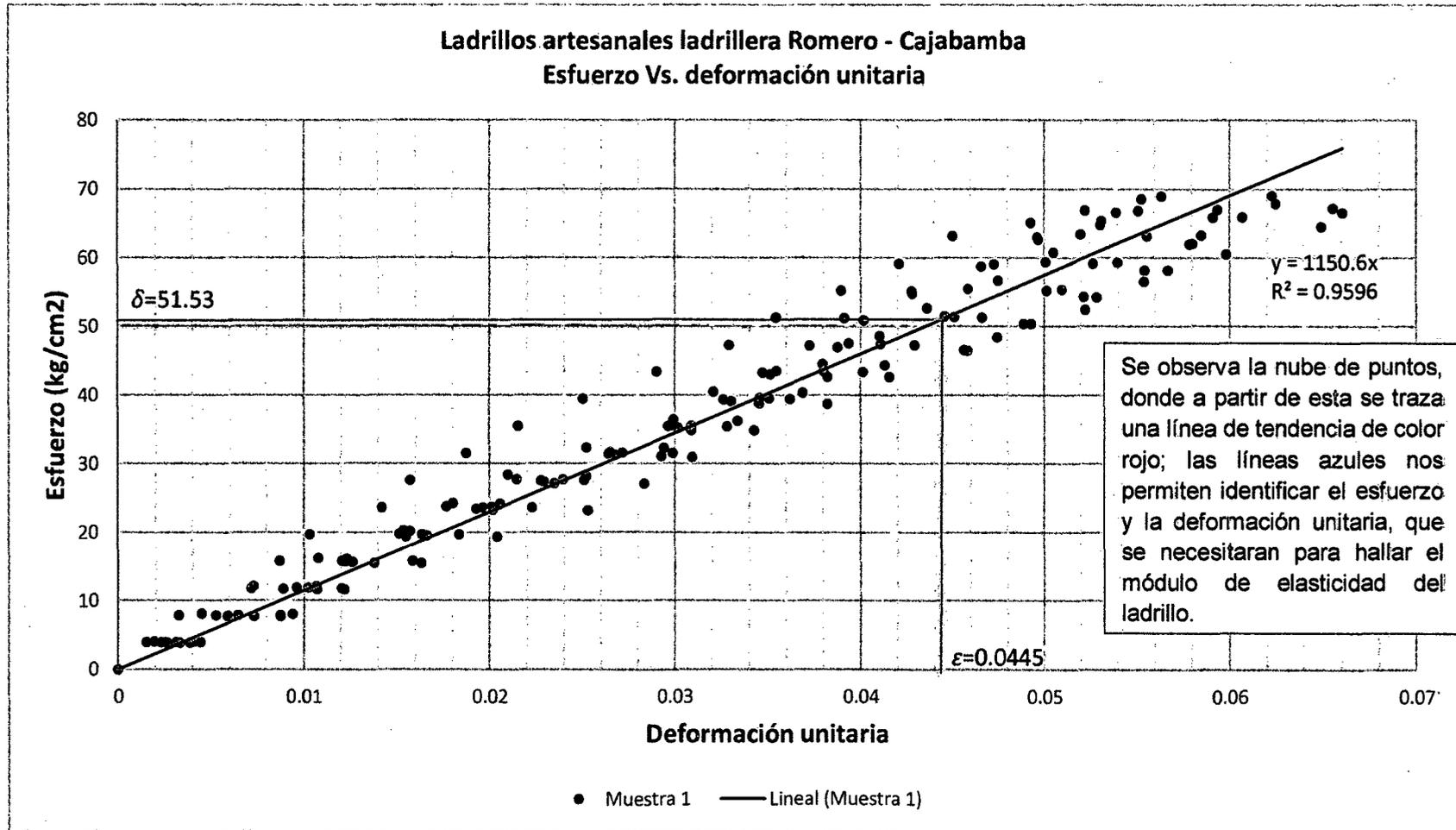


Tabla. 28 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Córdoba

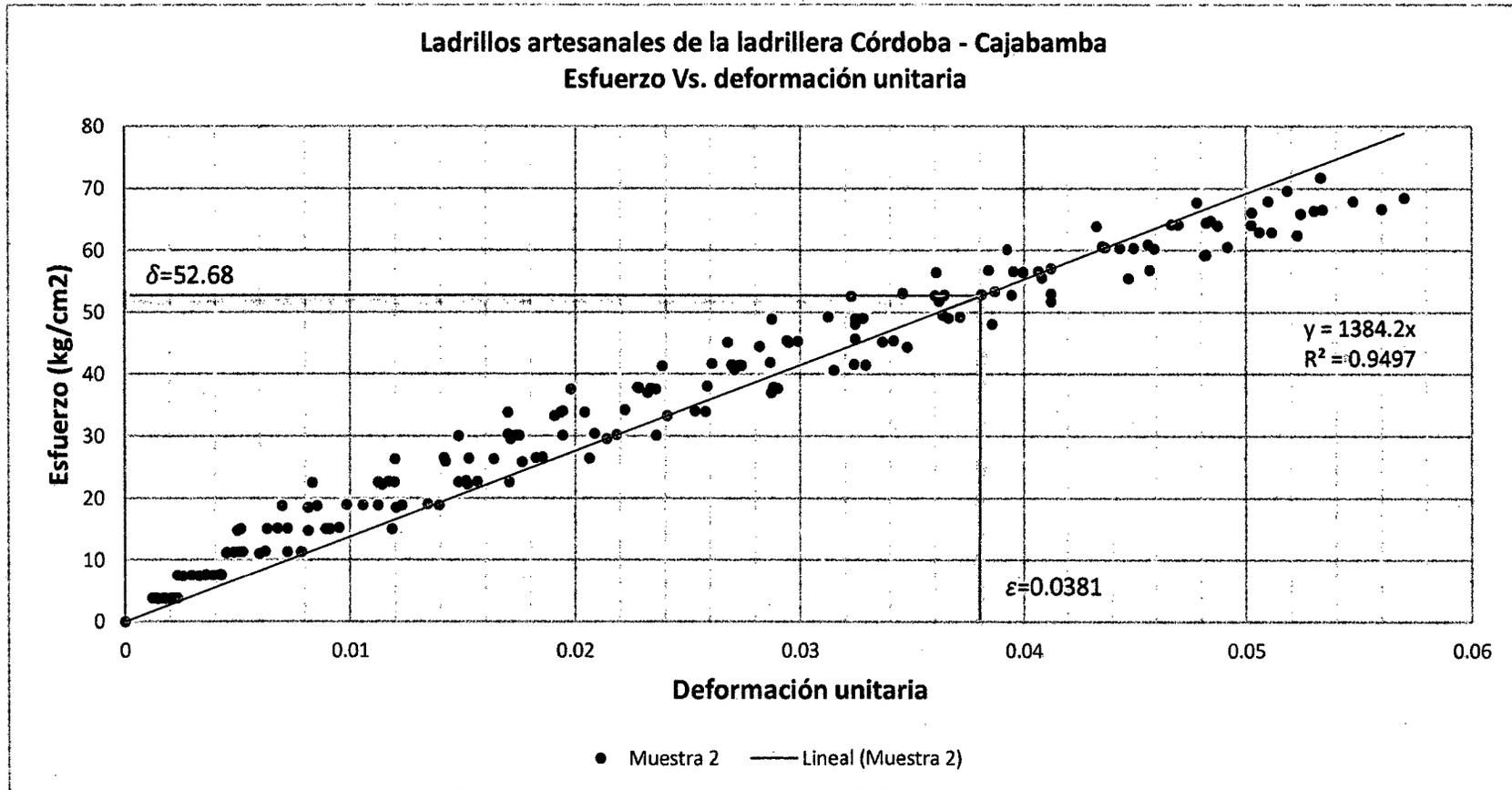
Datos de la muestra de la ladrillera Córdoba

MV - 01				MV - 02			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)
0	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.0000	0.00
1000	0.19	0.0023	3.81	1000	0.12	0.0015	3.71
2000	0.35	0.0043	7.63	2000	0.21	0.0026	7.42
3000	0.51	0.0062	11.44	3000	0.37	0.0045	11.13
4000	0.78	0.0095	15.25	4000	0.41	0.0050	14.83
5000	1.10	0.0134	19.07	5000	0.67	0.0081	18.54
6000	1.24	0.0151	22.88	6000	0.94	0.0114	22.25
7000	1.52	0.0185	26.70	7000	1.17	0.0142	25.96
8000	1.71	0.0209	30.51	8000	1.41	0.0171	29.67
9000	1.82	0.0222	34.32	9000	1.57	0.0191	33.38
10000	2.12	0.0259	38.14	10000	1.91	0.0232	37.08
11000	2.35	0.0287	41.95	11000	2.23	0.0271	40.79
12000	2.66	0.0324	45.76	12000	2.32	0.0282	44.50
13000	2.98	0.0363	49.58	13000	2.67	0.0324	48.21
14000	3.17	0.0387	53.39	14000	2.98	0.0362	51.92
15000	3.38	0.0412	57.20	15000	3.36	0.0408	55.63
16000	3.74	0.0456	61.02	16000	3.97	0.0482	59.34
17000	3.97	0.0484	64.83	17000	4.21	0.0511	63.04
				18000	4.61	0.0560	66.75

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a compresión

Se procedió de la misma manera para los 28 especímenes restantes

Grafico. 2 Esfuerzo Vs deformación unitaria de los especímenes de la muestra de la ladrillera Córdoba



Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar el esfuerzo y la deformación unitaria, que se necesitaran para hallar el módulo de elasticidad del ladrillo.

Tabla. 29 Módulos de elasticidad de unidades de ladrillo

Tipo	Deformación unitaria leída	Esfuerzo máximo leído (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm ²) práctica	Módulo de elasticidad (Eb) (kg/cm ²) teórica	Diferencia teórica y practica (%)
L.R	0.0445	51.53	1150.6	25386	95.47
L.C	0.0381	52.68	1384.2	26204	94.72

4. Cálculo de la succión del ladrillo.

Tabla. 30 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Romero.

Probeta	Largo (mm)			Ancho (mm)			Área (cm ²)	Psec gr.	Psuc gr	S
	L1	L2	Lprom	A1	A2	Apron				
MC-1	212	209	210.5	120	120.8	120.4	253.44	3024.2	3074.1	39.38
MC-2	212	209	210.5	118.5	119.4	118.95	250.39	3094.5	3149.1	43.61
MC-3	212	209	210.5	118.3	118.5	118.4	249.23	2825.2	2868.2	34.51
MC-4	212	209	210.5	120.1	120	120.05	252.71	3175.7	3232.8	45.19
MC-5	212	209	210.5	119.3	120.5	119.9	252.39	3042.8	3098.4	44.06
MC-6	212	209	210.5	118.7	117.2	117.95	248.28	3046.8	3101.9	44.38
MC-7	212	209	210.5	121.3	121.3	121.3	255.34	3125.2	3184.5	46.45
MC-8	212	209	210.5	120.4	117	118.7	249.86	3082.7	3129.8	37.70
MC-9	212	209	210.5	121	122.5	121.75	256.28	3116.1	3163.1	36.68
MC-10	212	209	210.5	117	122.4	119.7	251.97	3067.1	3124.4	45.48
MC-11	212	209	210.5	120.2	118.2	119.2	250.92	2974.0	3018.5	35.47
MC-12	212	209	210.5	120.4	119.5	119.95	252.49	2983.6	3041.4	45.78
MC-13	212	209	210.5	122.5	122.3	122.4	257.65	3251.1	3296.7	35.40
MC-14	212	209	210.5	119.4	117.7	118.55	249.55	2829.2	2864.4	28.21
MC-15	212	209	210.5	117.5	117.3	117.4	247.13	2837.2	2896.7	48.15
MC-16	212	209	210.5	118.5	119.9	119.2	250.92	3017.8	3059.2	33.00
MC-17	212	209	210.5	120	122.1	121.05	254.81	3166.5	3226.3	46.94
MC-18	212	209	210.5	121.7	119.4	120.55	253.76	2975.7	3026.2	39.80
MC-19	212	209	210.5	119.5	119	119.25	251.02	2997.2	3059.91	49.96
MC-20	212	209	210.5	122	122.6	122.3	257.44	3398.6	3434.8	28.12
MC-21	212	209	210.5	119.1	119.7	119.4	251.34	3051.6	3084.9	26.50
MC-22	212	209	210.5	121.6	119.9	120.75	254.18	3151.1	3191.2	31.55
MC-23	212	209	210.5	120.9	122.8	121.85	256.49	3148.9	3196.1	36.80
MC-24	212	209	210.5	122.5	121.4	121.95	256.70	3183.3	3232.5	38.33
MC-25	212	209	210.5	119	119.7	119.35	251.23	3063.8	3103	31.21
MC-26	212	209	210.5	117.1	118	117.55	247.44	2806.3	2861.1	44.29
MC-27	212	209	210.5	119.9	120.8	120.35	253.34	3094.3	3152.4	45.87
MC-28	212	209	210.5	118.5	118	118.25	248.92	2846.8	2902.2	44.51
MC-29	212	209	210.5	121	121.9	121.45	255.65	3164.6	3202.6	29.73
MC-30	212	209	210.5	121.6	122.4	122	256.81	3126.5	3187.7	47.66
Succión promedio										39.49
Desviación estándar (σ)										6.91
Coeficiente de variación (c.v.)										17.51%

Tabla. 31 Ensayo de succión de la muestra de la ladrillera Córdoba

Probeta	Largo (mm)			Ancho (mm)			Área (cm ²)	Psec gr.	Psuc gr	S
	L1	L2	Lprom	A1	A2	Aprom				
MV-1	212	212	212	122.8	122.3	122.55	259.81	3299.9	3341.9	32.33
MV-2	211.5	222	216.75	125	123.15	124.08	268.93	3370.6	3432.3	45.89
MV-3	212	211.5	211.75	123.15	124.35	123.75	262.04	3487.6	3536.3	37.17
MV-4	210	211	210.5	122.6	123.7	123.15	259.23	3309.9	3355.2	34.95
MV-5	211	212	211.5	123.5	121.3	122.40	258.88	3310.3	3362.4	40.25
MV-6	212	211	211.5	127	121.6	124.30	262.89	3300.6	3343.4	32.56
MV-7	211	218	214.5	123	122.1	122.55	262.87	3389.6	3417.9	21.53
MV-8	213	214	213.5	123	121.5	122.25	261.00	3323.9	3368.6	34.25
MV-9	211	211	211	122.8	121.5	122.15	257.74	3339.3	3370.4	24.13
MV-10	211	212	211.5	123.1	122.7	122.90	259.93	3336.8	3380	33.24
MV-11	211	212	211.5	122.9	123.3	123.10	260.36	3429.2	3476.9	36.64
MV-12	209	208	208.5	119.6	119.7	119.65	249.47	3185.2	3218.4	26.62
MV-13	213	212	212.5	122.7	122.8	122.75	260.84	3413.5	3452.9	30.21
MV-14	212	211	211.5	122.5	122.1	122.30	258.66	3296	3337.2	31.86
MV-15	213	212	212.5	122.2	119.9	121.05	257.23	3342.8	3376.5	26.20
MV-16	212	212	212	121.6	120.8	121.20	256.94	3353	3398.4	35.34
MV-17	209	211	210	122.1	120.7	121.40	254.94	3221.6	3274.1	41.19
MV-18	211	209	210	122.9	122.9	122.90	258.09	3407.9	3442.8	27.04
MV-19	213	213	213	123.1	122.1	122.60	261.14	3413.1	3461.5	37.07
MV-20	209	211	210	123.6	122.1	122.85	257.99	3322.1	3371.4	38.22
MV-21	209	210	209.5	121.1	122	121.55	254.65	3288.8	3321.4	27.17
MV-22	209	210	209.5	123.5	124.2	123.85	259.47	3306.2	3342.4	27.90
MV-23	212	211	211.5	123.1	125	124.05	262.37	3495.8	3533	28.36
MV-24	209	212	210.5	121.6	121.1	121.35	255.44	3240.5	3279.8	30.77
MV-25	210	212	211	120.5	122.5	121.50	256.37	3384.5	3420.4	28.01
MV-26	213	214	213.5	122.4	119.8	121.10	258.55	3329.4	3375.1	35.35
MV-27	213	213	213	123.1	124.2	123.65	263.37	3457.2	3504.8	36.15
MV-28	209	211	210	121	121.9	121.45	255.05	3311.6	3359.7	37.72
MV-29	212	212	212	121.6	122.2	121.90	258.43	3351.2	3399.1	37.07
MV-30	209	212	210.5	122	123.3	122.65	258.18	3474.9	3507.4	25.18
	Succión promedio									32.68
	Desviación estándar (σ)									5.68
	Coeficiente de variación (c.v.)									17.39%

5. Cálculo de la absorción del ladrillo.

Tabla. 32 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Romero

Espécimen	Peso seco gr.	Peso saturado gr.	Absorción %
MC-1	3018.2	3545.8	17.48
MC-2	3081.9	3606.1	17.01
MC-3	2810.5	3334.4	18.64
MC-4	3175.7	3532.2	11.23
MC-5	3041.4	3541.3	16.44
MC-6	3044.5	3516.3	15.50
MC-7	3121.1	3629.6	16.29
MC-8	3077.4	3609.6	17.29
MC-9	3112.8	3613.5	16.09
MC-10	3063.2	3582.3	16.95
MC-11	2966.3	3475.5	17.17
MC-12	2983.1	3496.6	17.21
MC-13	3236.5	3784.3	16.93
MC-14	2810.6	3227.4	14.83
MC-15	2836.1	3321.5	17.12
MC-16	3009	3523.1	17.09
MC-17	3165.8	3651.9	15.35
MC-18	2965.1	3485.9	17.56
MC-19	2988.5	3508.8	17.41
MC-20	3375.1	3908.3	15.80
MC-21	3034	3546.2	16.88
MC-22	3132.8	3663.5	16.94
MC-23	2998	3551.8	18.47
MC-24	3176.8	3706.4	16.67
MC-25	3050	3573	17.15
MC-26	2801.6	3320.5	18.52
MC-27	3091	3608.3	16.74
MC-28	2843.9	3333.9	17.23
MC-29	3151.8	3678.7	16.72
MC-30	3116.6	3645.9	16.98
Absorción promedio (%)			16.72
Desviación estándar (σ)			1.34
Coeficiente de variación (cv)			8.03%

Tabla. 33 Ensayo de absorción de la muestra de la ladrillera Córdoba

Espécimen	Peso seco gr.	Peso saturado gr.	Absorción %
MV-1	3294.1	3825.9	16.14
MV-2	3370.3	3898.3	15.67
MV-3	3481.9	3985.1	14.45
MV-4	3304.2	3825.6	15.78
MV-5	3308.4	3817.2	15.38
MV-6	3298	3823.3	15.93
MV-7	3369.1	3894.6	15.60
MV-8	3311.6	3868	16.80
MV-9	3323.1	3863.5	16.26
MV-10	3328.5	3859.8	15.96
MV-11	3443.5	3962.1	15.06
MV-12	3202.4	3718.3	16.11
MV-13	3419.4	3916.9	14.55
MV-14	3301.6	3821.8	15.76
MV-15	3360.5	3872.9	15.25
MV-16	3361.3	3868.4	15.09
MV-17	3235.3	3759.5	16.20
MV-18	3427.7	3942.8	15.03
MV-19	3418.4	3949.2	15.53
MV-20	3327.9	3841	15.42
MV-21	3305.5	3833.1	15.96
MV-22	3317.3	3835.8	15.63
MV-23	3507.3	4019.9	14.62
MV-24	3225.4	3749.1	16.24
MV-25	3373.5	3910.3	15.91
MV-26	3335.4	3856.6	15.63
MV-27	3469.4	3972.9	14.51
MV-28	3318.6	3830.9	15.44
MV-29	3357.1	3877	15.49
MV-30	3499.2	3999.3	14.29
	Absorción promedio (%)		15.52
	Desviación estándar (σ)		0.62
	Coeficiente de variación (cv)		3.96%

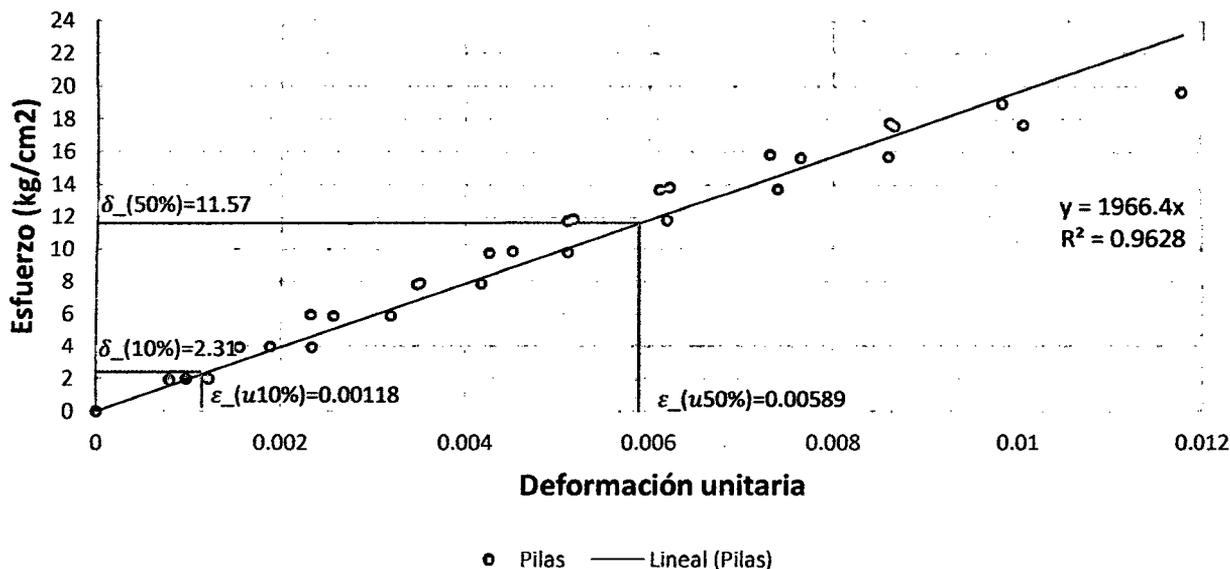
6.1. Cálculo del módulo de elasticidad en pilas.

Tabla. 36 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Romero

PLC - 01				PLC - 2			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)
0	0.00	0.0000	0.00	0	0	0.0000	0.00
500	0.63	0.0012	1.96	500	0.41	0.0008	1.95
1000	1.21	0.0023	3.93	1000	0.81	0.0016	3.91
1500	1.65	0.0032	5.89	1500	1.34	0.0026	5.86
2000	2.16	0.0042	7.85	2000	1.81	0.0035	7.82
2500	2.65	0.0051	9.81	2500	2.22	0.0043	9.77
3000	3.21	0.0062	11.78	3000	2.67	0.0051	11.73
3500	3.83	0.0074	13.74	3500	3.19	0.0061	13.68
4000	4.45	0.0086	15.70	4000	3.99	0.0076	15.64
4500	5.21	0.0101	17.67	4500	4.52	0.0087	17.59
5000	6.10	0.0118	19.63	4850	5.13	0.0098	18.96

Grafico. 3 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Romero

Pilas de la muestra de la ladrillera Romero - Cajabamba Esfuerzo Vs. deformación unitaria

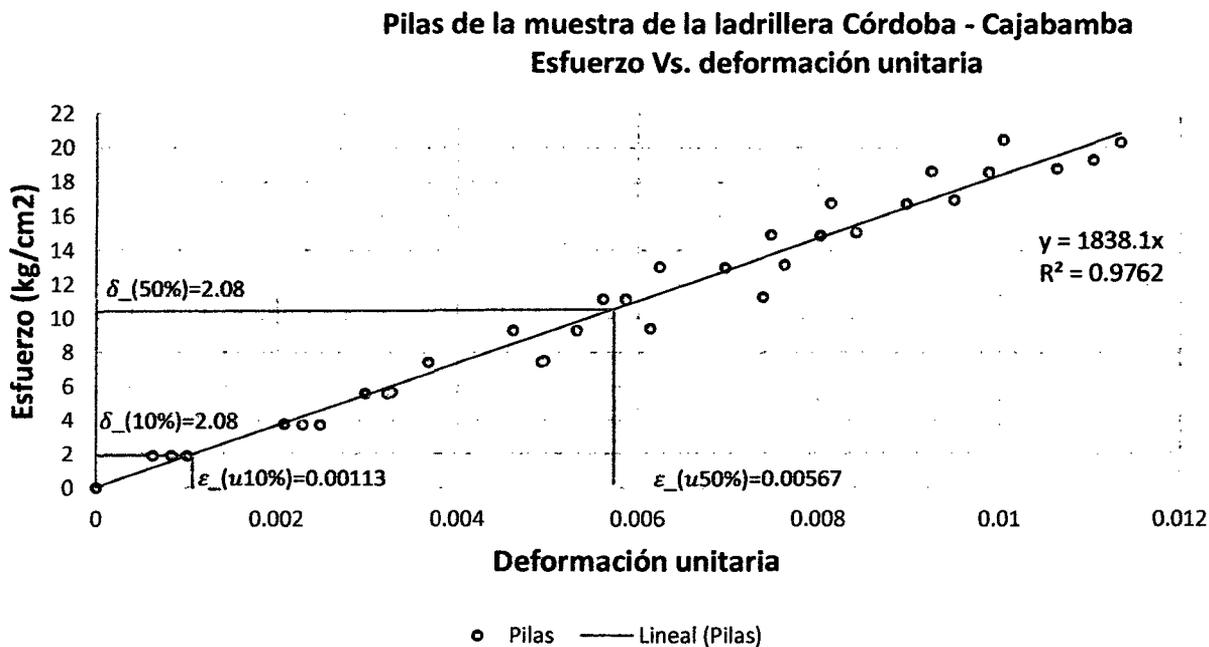


Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar los esfuerzos y deformaciones unitarias al 10% y 50%.

Tabla. 37 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación muestra de la ladrillera Córdoba

PLV - 01				PLV - 2			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf. (kg/cm ²)
0	0.00	0.0000	0.00	0	0	0.0000	0.00
500	0.33	0.0006	1.86	500	0.54	0.0010	1.86
1000	1.21	0.0023	3.72	1000	1.33	0.0025	3.71
1500	1.58	0.0030	5.58	1500	1.73	0.0032	5.57
2000	1.95	0.0037	7.44	2000	2.65	0.0049	7.43
2500	2.45	0.0046	9.30	2500	2.86	0.0053	9.28
3000	2.98	0.0056	11.17	3000	3.15	0.0059	11.14
3500	3.31	0.0062	13.03	3500	3.74	0.0070	13.00
4000	3.97	0.0075	14.89	4000	4.31	0.0080	14.85
4500	4.32	0.0081	16.75	4500	4.82	0.0090	16.71
5000	4.91	0.0092	18.61	5000	5.31	0.0099	18.57
5500	5.33	0.0100	20.47	5200	5.93	0.0110	19.31

Grafico. 4 Esfuerzo Vs deformación unitaria de pilas de la muestra de la ladrillera Córdoba



Se observa la nube de puntos, donde a partir de esta se traza una línea de tendencia de color rojo; las líneas azules nos permiten identificar los esfuerzos y deformaciones unitarias al 10% y 50%.

Tabla. 38 Cálculo de los módulos de elasticidad de las unidades de ladrillo artesanal

Tipo	$\epsilon_{u10\%}$	$\epsilon_{u50\%}$	$\delta_{10\%}$ (kg/cm ²)	$\delta_{50\%}$ (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm ²) práctica
L. Romero	0.00118	0.00589	2.31	11.57	1.97 E+03
L. Córdoba	0.00113	0.00567	2.08	10.42	1.84 E+03

ϵ_u : Deformación unitaria δ : Esfuerzo

7. Cálculo de la resistencia al corte en muretes (v'm).

Tabla. 39 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Romero

Espécimen	Dimensiones			Dimensiones con yeso			P máx. Kg	Área cm ²	vm Kg/cm ²
	L (mm)	A (mm)	t (mm)	D (mm)	Lo (mm)	Ao (mm)			
MC-01	1005	1002	121	1505	1013	1013	4,900	1,821.05	2.69
MC-02	1006	1001	122	1504	1012	1012	4,500	1,834.88	2.45

vm Prom: 2.57
Kg/cm²

Desviación estándar (σ): 0.17
Kg/cm²

Resistencia al corte (v'm): 2.40
Kg/cm²

Coefficiente de variación (cv): 6.55%

Tabla. 40 Ensayo a la resistencia al corte de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba

Espécimen	Dimensiones			Dimensiones con yeso			P máx. Kg	Área cm ²	vm Kg/cm ²
	L (mm)	A (mm)	t (mm)	D (mm)	Lo (mm)	Ao (mm)			
MV-01	1011	1001	121	1445	1023	1010	6,600	1,748.45	3.77
MV-02	1008	1005	123	1452	1015	1011	6,900	1,785.96	3.86

vm Prom: 3.82
Kg/cm²

Desviación estándar (σ): 0.06
Kg/cm²

Resistencia al corte (v'm): 3.76
Kg/cm²

Coefficiente de variación (cv): 1.64%

7.1. Cálculo del módulo de corte en muretes.

Tabla. 41 Datos procesados para la obtención del gráfico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Romero

Datos muretes de la ladrillera Romero							
MC - 01							
Vertical				Horizontal			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.
0	0.0	0.00000	0.00	0	0	0.00000	0.00
200	0.5	0.00033	0.11	200	0.15	0.00011	0.12
400	0.7	0.00047	0.22	400	0.24	0.00017	0.23
600	1.2	0.00080	0.33	600	0.32	0.00023	0.35
800	1.6	0.00106	0.44	800	0.62	0.00044	0.47
1000	1.9	0.00126	0.55	1000	0.7	0.00049	0.58
1200	2.0	0.00133	0.66	1200	0.75	0.00053	0.70
1400	2.5	0.00166	0.77	1400	0.87	0.00061	0.82
1600	2.5	0.00166	0.88	1600	0.99	0.00070	0.93
1800	2.9	0.00193	0.99	1800	1.17	0.00082	1.05
2000	3.0	0.00199	1.10	2000	1.45	0.00102	1.16
2200	3.2	0.00213	1.21	2200	1.57	0.00111	1.28
2400	3.4	0.00226	1.32	2400	1.75	0.00123	1.40
2600	3.6	0.00239	1.43	2600	1.94	0.00137	1.51
2800	3.8	0.00252	1.54	2800	2.15	0.00151	1.63
3000	3.9	0.00259	1.65	3000	2.35	0.00166	1.75
3200	4.0	0.00266	1.76	3200	2.42	0.00171	1.86
3400	4.1	0.00272	1.87	3400	2.55	0.00180	1.98
3600	4.3	0.00286	1.98	3600	2.69	0.00190	2.10
3800	4.4	0.00292	2.09	3800	2.78	0.00196	2.21
4000	4.7	0.00312	2.20	4000	2.89	0.00204	2.33
4200	4.8	0.00319	2.31	4200	3.05	0.00215	2.45
4400	5.0	0.00332	2.42	4400	3.17	0.00223	2.56
4600	5.3	0.00352	2.53	4600	3.29	0.00232	2.68
4800	5.5	0.00365	2.64	4800	3.42	0.00241	2.80
4900	6.0	0.00399	2.69	4900	3.51	0.00247	2.85

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a corte de muretes

Se procedió de la misma manera para el espécimen restante

Grafico. 5 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Romero

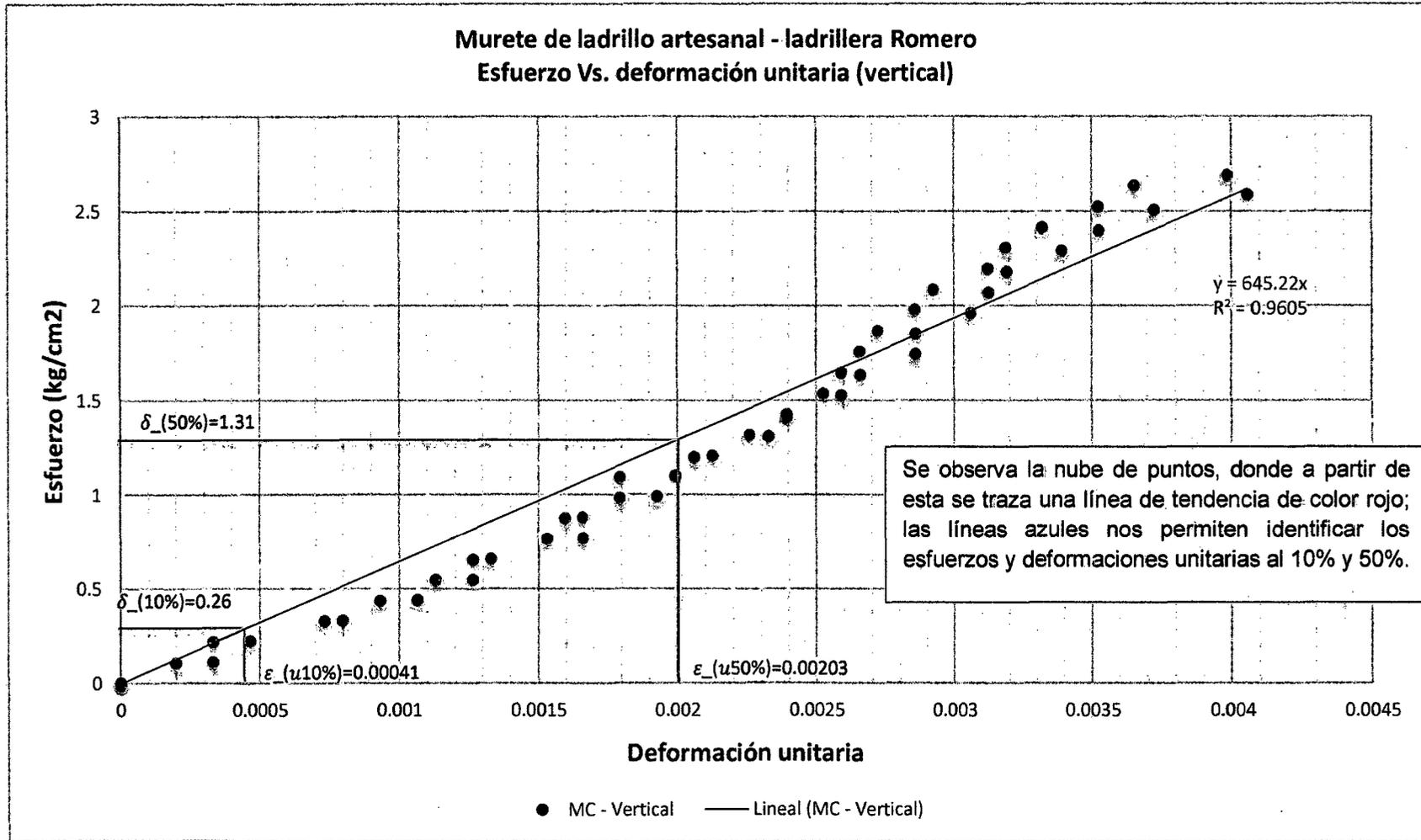


Grafico. 6 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Romero

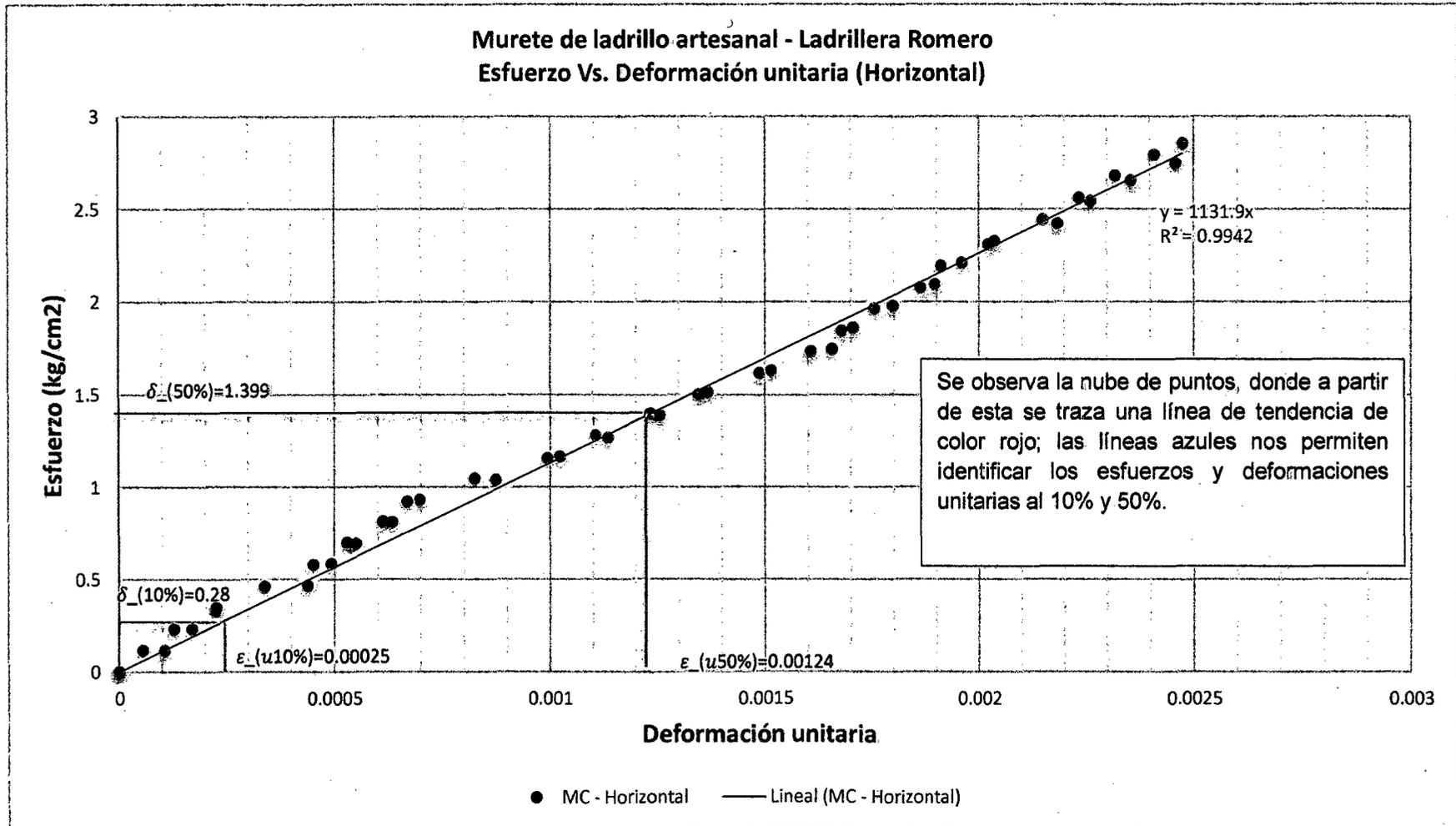


Tabla. 42 Datos procesados para la obtención del grafico esfuerzo vs deformación de la muestra de la ladrillera Córdoba

Datos muretes de la ladrillera Córdoba							
MV - 01							
Vertical				Horizontal			
Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esf.
0	0.0	0.00000	0.00	0	0.0	0.00000	0.00
200	0.2	0.00014	0.11	200	0.1	0.00007	0.12
400	0.6	0.00042	0.23	400	0.2	0.00015	0.23
600	0.9	0.00062	0.34	600	0.3	0.00022	0.35
800	1.0	0.00069	0.46	800	0.3	0.00024	0.47
1000	1.5	0.00104	0.57	1000	0.4	0.00029	0.58
1200	1.8	0.00125	0.69	1200	0.5	0.00033	0.70
1400	1.9	0.00131	0.80	1400	0.5	0.00037	0.82
1600	2.0	0.00138	0.92	1600	0.6	0.00042	0.93
1800	2.0	0.00138	1.03	1800	0.6	0.00043	1.05
2000	2.1	0.00145	1.14	2000	0.7	0.00047	1.17
2200	2.2	0.00152	1.26	2200	0.7	0.00047	1.28
2400	2.5	0.00173	1.37	2400	0.7	0.00048	1.40
2600	2.6	0.00180	1.49	2600	0.7	0.00049	1.52
2800	2.8	0.00194	1.60	2800	0.7	0.00050	1.63
3000	3.0	0.00208	1.72	3000	0.7	0.00052	1.75
3200	3.1	0.00215	1.83	3200	0.8	0.00054	1.87
3400	3.2	0.00221	1.94	3400	0.8	0.00057	1.98
3600	3.2	0.00221	2.06	3600	0.8	0.00059	2.10
3800	3.3	0.00228	2.17	3800	0.9	0.00062	2.22
4000	3.5	0.00242	2.29	4000	0.9	0.00065	2.33
4200	3.6	0.00249	2.40	4200	1.0	0.00068	2.45
4400	3.8	0.00263	2.52	4400	1.0	0.00070	2.57
4600	3.9	0.00270	2.63	4600	1.1	0.00079	2.68
4800	4.0	0.00277	2.75	4800	1.2	0.00083	2.80
5000	4.1	0.00284	2.86	5000	1.2	0.00086	2.92
5200	4.3	0.00298	2.97	5200	1.3	0.00090	3.03
5400	4.5	0.00311	3.09	5400	1.3	0.00095	3.15
5600	4.6	0.00318	3.20	5600	1.4	0.00100	3.27
5800	4.8	0.00332	3.32	5800	1.5	0.00102	3.38
6000	5.0	0.00346	3.43	6000	1.5	0.00107	3.50
6200	5.1	0.00353	3.55	6200	1.6	0.00111	3.62
6400	5.3	0.00367	3.66	6400	1.6	0.00116	3.73
6600	5.5	0.00381	3.77	6600	1.7	0.00121	3.85

Nota: Los datos usados (ancho, largo, alto) son los mismos del ensayo a corte de muretes

Se procedió de la misma manera para el espécimen restante

Grafico. 7 Esfuerzo Vs deformación unitaria vertical de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba

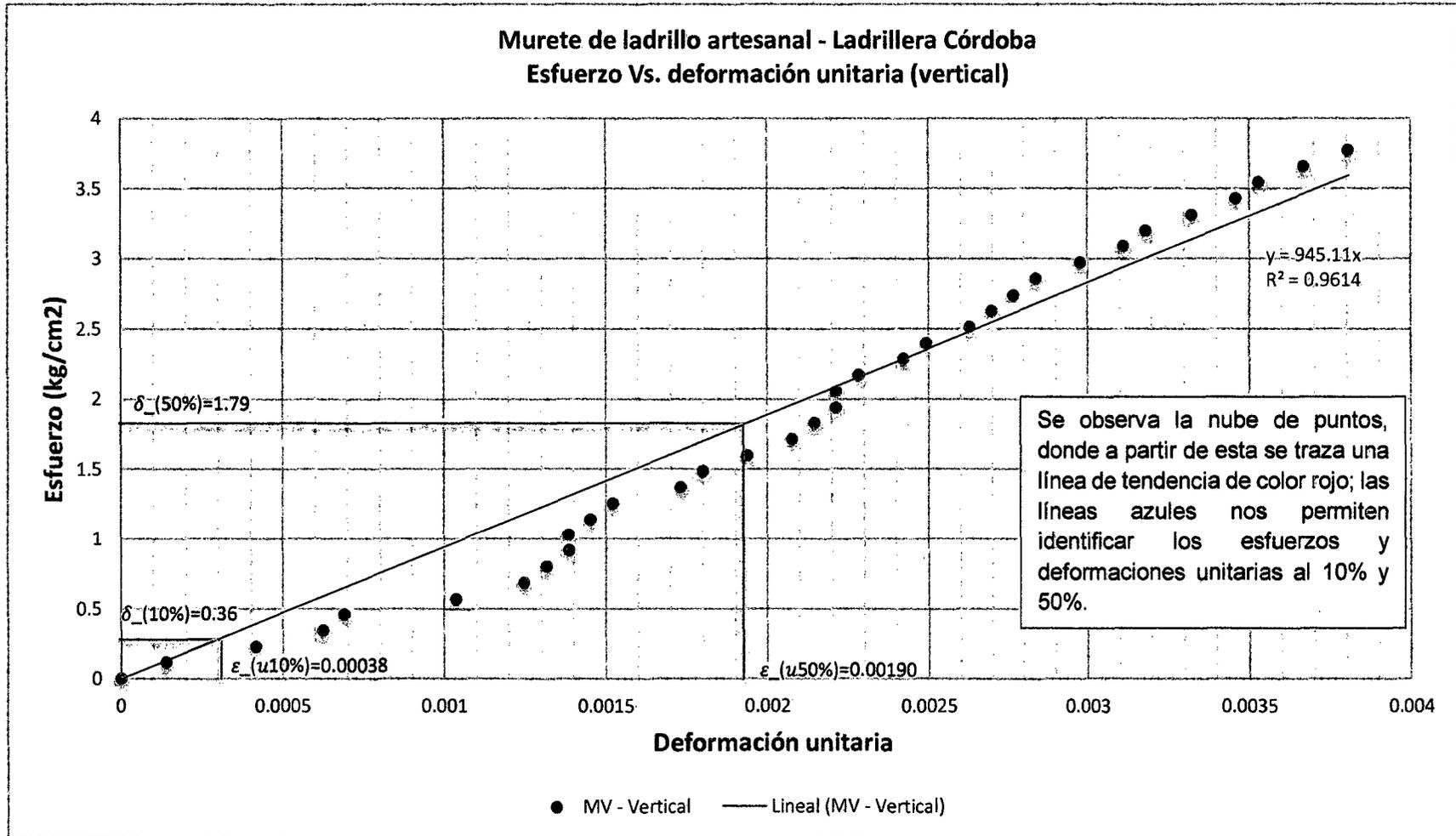


Grafico. 8 Esfuerzo Vs deformación unitaria horizontal de muretes de la muestra de la ladrillera Córdoba

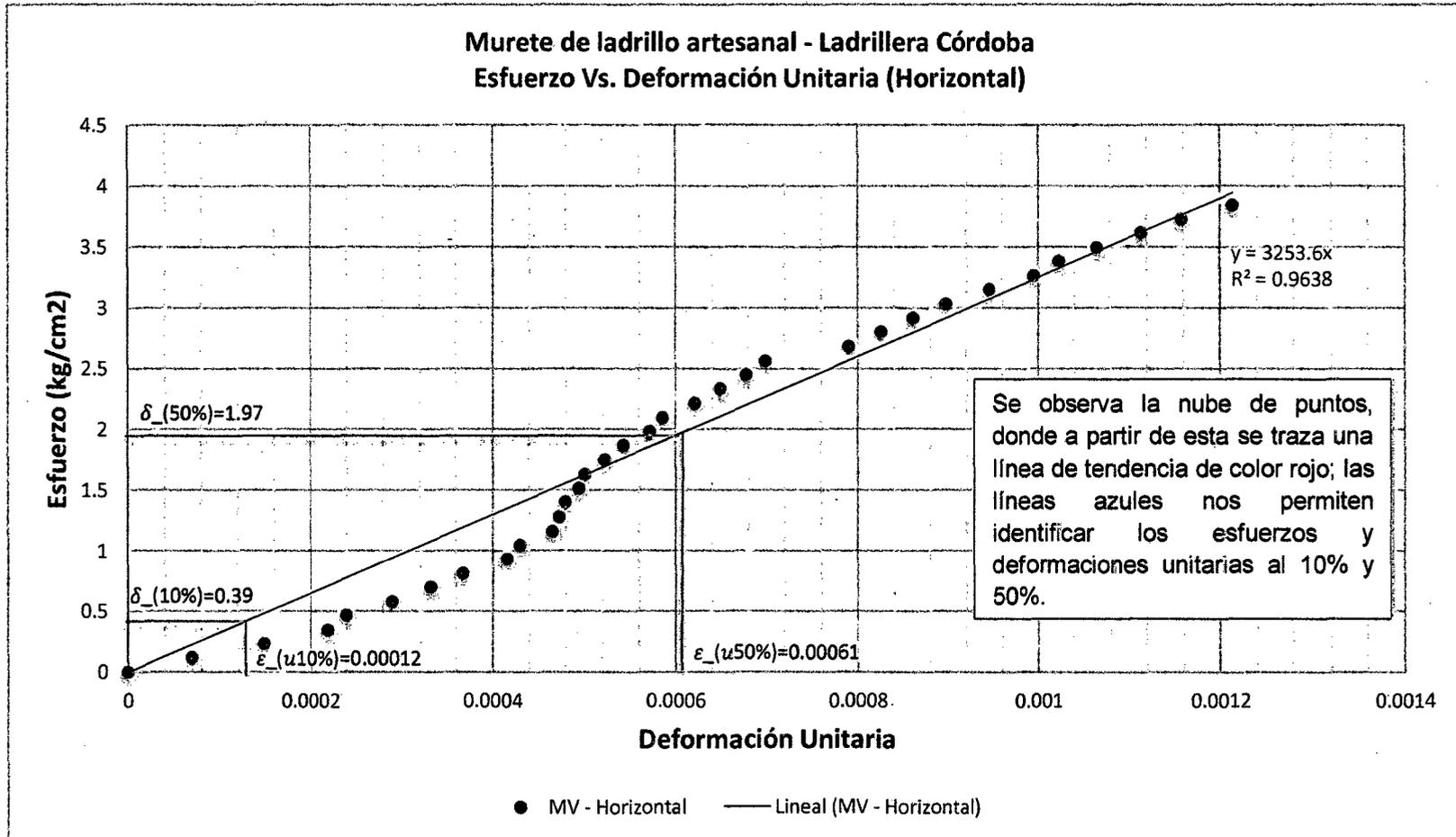


Tabla. 43 Cálculo del módulo de corte del ensayo en muretes de ladrillo

Tipo	Vertical leído		Horizontal leído		$\delta_{10\%}$	$\delta_{50\%}$	Módulo de corte (Gm) (kg/cm ²) práctica
	$\epsilon_{uv10\%}$	$\epsilon_{uv50\%}$	$\epsilon_{uH10\%}$	$\epsilon_{uH50\%}$			
L. Romero	0.00041	0.00203	0.00025	0.00124	0.28	1.39	428.77
L. Córdoba	0.00038	0.00190	0.00012	0.00061	0.39	1.97	786.54

ϵ_{uv} , ϵ_{uH} : Deformación unitaria vertical y horizontal respectivamente leída en los gráficos anteriores
 δ : Esfuerzo leído en los gráficos anteriores.

8. Mortero.

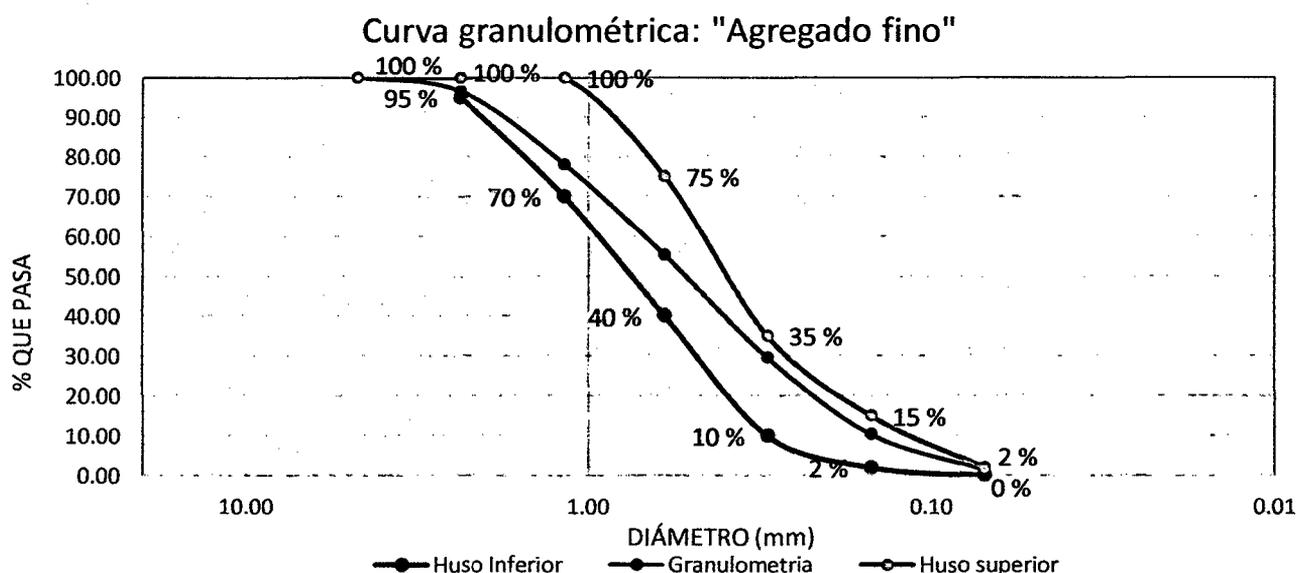
8.1. Propiedades del agregado fino.

A. Análisis Granulométrico del agregado fino.

El ensayo se realizó según la norma ASTM C33-07; el uso granulométrico es del tipo C.

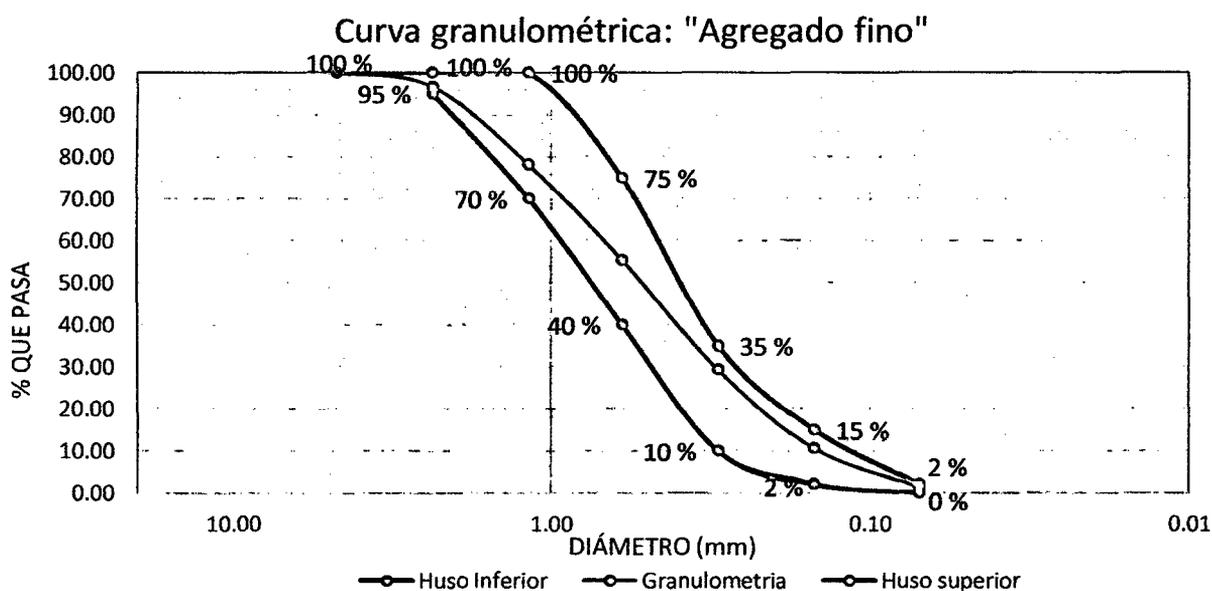
❖ Ensayo N° 01

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
4	4.75	0	0	0	100
8	2.38	17.4	3.48	3.48	96.52
16	1.18	92.1	18.42	21.90	78.10
30	0.6	114.3	22.86	44.76	55.24
50	0.3	128.3	25.66	70.42	29.58
100	0.15	95.9	19.18	89.60	10.40
200	0.07	44.8	8.96	98.56	1.44
Cazoleta		7.2	1.44	100.00	0.00



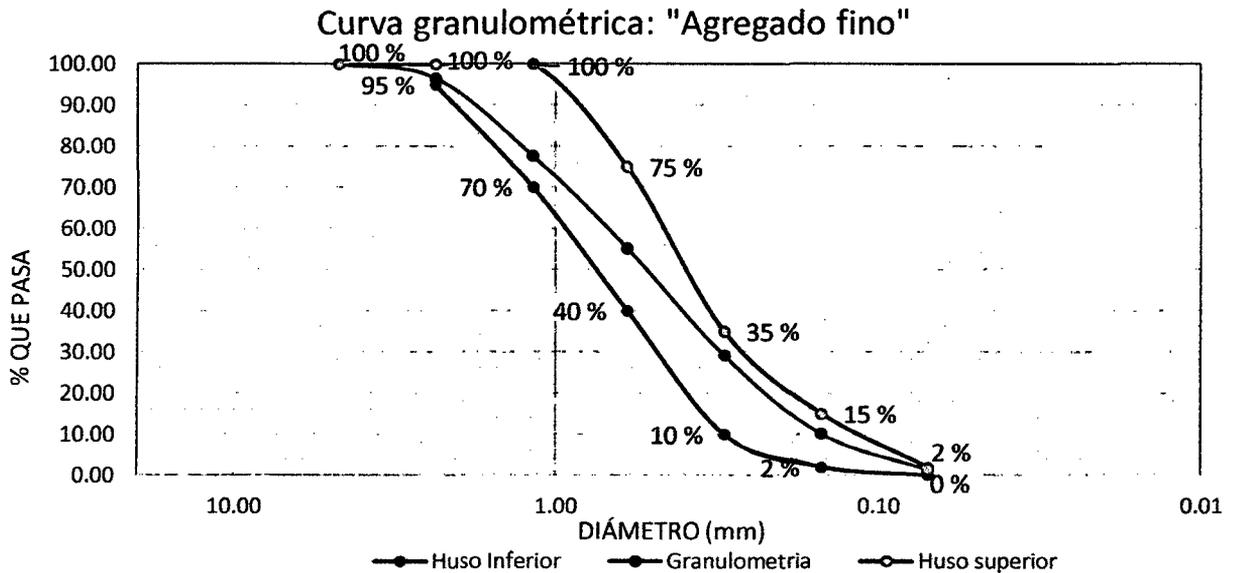
❖ Ensayo N° 02

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
4	4.75	0	0.00	0.00	100.00
8	2.38	16.8	3.36	3.36	96.64
16	1.18	92.7	18.54	21.90	78.10
30	0.6	113.8	22.76	44.66	55.34
50	0.3	130.1	26.02	70.68	29.32
100	0.15	93.5	18.70	89.38	10.62
200	0.07	46.3	9.26	98.64	1.36
Cazoleta		6.8	1.36	100.00	0.00



❖ Ensayo N° 03

Peso de la muestra seca al horno = 500 gr.					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
4	4.75	0	0	0	100
8	2.38	16.9	3.38	3.38	96.62
16	1.18	94.7	18.94	22.32	77.68
30	0.6	112.6	22.52	44.84	55.16
50	0.3	129.9	25.98	70.82	29.18
100	0.15	95.4	19.08	89.90	10.10
200	0.07	43.6	8.72	98.62	1.38
Cazoleta		6.9	1.38	100.00	0.00



B. Módulo de fineza

Se la granulometría anterior, para calcular el módulo de finura, se suma los porcentajes retenidos acumulados en las mallas estándar y se divide entre cien (100), se encontraron los siguientes resultados.

Ensayo N° 01	mf = 2.30
Ensayo N° 02	mf = 2.30
Ensayo N° 03	mf = 2.31
Promedio	mf = 2.30

C. Peso específico y absorción.

El ensayo se realizó según la norma ASTM C128-07

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
peso de la fiola	200.10 gr	200.10 gr	200.10 gr	
Peso de la muestra saturada con superficie seca	500.00 gr	500.00 gr	500.00 gr	
Peso de la muestra saturada con superficie seca + peso de la fiola	700.10 gr	700.10 gr	700.10 gr	
Peso de la muestra saturada con superficie seca + peso de la fiola + peso del agua	1010.10 gr	1009.80 gr	1009.30 gr	
Volumen de agua añadida (Va)	310.0 cm ³	309.7 cm ³	309.2 cm ³	Promedio
Peso de la arena seca (Wo)	490.1 gr	489.9 gr	490.8 gr	
Volumen de la fiola (V)	500.0 cm ³	500.0 cm ³	500.0 cm ³	
Pemasa=Wo/(V-Va)	2.58 gr/cm ³	2.57 gr/cm ³	2.57 gr/cm ³	2.58 gr/cm ³
Pesss=500/(V-Va)	2.63 gr/cm ³	2.63 gr/cm ³	2.62 gr/cm ³	2.63 gr/cm ³
Pea=Wo/[(V-Va)-(500-Wo)]	2.72 gr/cm ³	2.72 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³	2.71 gr/cm ³
Abs=[(500-Wo)*100]/Wo	2.02%	2.06%	1.87%	1.99%

D. Contenido de humedad (W%)

Ensayo N°	1	2	3
Peso muestra húmeda	1000	1000	1000
Peso muestra seca	967.1	961.3	965.5
Contenido de humedad %	3.40%	4.03%	3.57%
Peso unitario suelto promedio	3.67%		

E. Peso unitario

Estos ensayos se realizaron acorde a la norma ASTM C29/C29M - 07

➤ Peso Unitario suelto seco

V. Agua en el molde	9884.44 cm ³
P. agua en el molde	9.88 kg
Factor	101.17

Ensayo N°	1	2	3
Peso del molde (kg)	4.215	4.215	4.215
Peso del molde + material (kg)	18.53	18.5	18.47
Peso de material (kg)	14.315	14.285	14.255
Factor (F)	101.17	101.17	101.17
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1448.24	1445.20	1442.17
Peso unitario suelto promedio	1445.20 kg/m ³		

➤ Peso unitario seco compactado

V. Agua en el molde	9884.44 cm ³
P. agua en el molde	9.88 kg
Factor	101.17

Ensayo N°	1	2	3
Peso del molde (kg)	4.215	4.215	4.215
Peso del molde + material (kg)	20.2	19.5	20.7
Peso de material (kg)	15.985	15.285	16.485
Factor (F)	101.17	101.17	101.17
Peso unitario seco compactado (kg/m ³)	1617.19	1546.37	1667.77
Peso unitario seco compactado promedio	1610.44 kg/m ³		

8.2. Diseño analítico del mortero.

	Cemento	Agregado fino	A/C
Proporción del mortero:	1	4	0.9 (Volumen aparente)

Cemento

Tipo :	I	ASTM C-150
Peso específico :	3.12 gr/cm ³	

Características del agregado fino:

Peso específico de masa	2.58 gr/cm ³
Peso unitario suelto seco	1445.20 kg/m ³
Peso unitario compactado seco	1610.44 kg/m ³
Contenido de humedad (%)	3.67
Absorción (%)	1.99
Módulo de finura	2.30

Cantidad de materiales en base a una bolsa de cemento (secos)

Cemento	42.50 Kg
A. fino	163.69 Kg
Agua Añadida	38.25 lt

Volúmenes absolutos

Cemento	0.013622 m ³
A. fino	0.063447 m ³
Agua Añadida	0.038250 m ³
Suma	<u>0.115318 m³</u>

Aire 3.5 %	0.004036 m ³
------------	-------------------------

Volumen total 0.119355 m³

Factor cemento

$$F.C. = 1 / \text{volumen total} = 8.378 \text{ bolsas}$$

Materiales por m³ (secos)

Cemento	356.08 Kg
A. fino	1371.48 Kg
Agua Añadida	320.47 lt

Materiales por m³ (húmedos)

Cemento	356.08 Kg
A. fino	1421.81 Kg
Agua de diseño	297.43 lt

Proporción en peso de la mezcla en obra

	Cemento	Agregado fino	A/C
	1	3.993	0.835

8.3. Cálculo de la resistencia a compresión del mortero.

Tabla. 44 Calculo resistencia a la compresión de las probetas de mortero.

Espécimen	Carga (Kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia del mortero Mpa (28 días)	Resistencia del mortero kg/cm ² (28 días)
Mortero 1	3550	5.08	20.27	17.18	175.15
Mortero 2	3480	5.08	20.27	16.84	171.70
Mortero 3	3450	5.08	20.27	16.69	170.22
Mortero 4	3390	5.08	20.27	16.40	167.26
Mortero 5	3410	5.08	20.27	16.50	168.24
Mortero 6	3640	5.08	20.27	17.61	179.59
Mortero 7	3150	5.08	20.27	15.24	155.42
Mortero 8	3200	5.08	20.27	15.48	157.88
Mortero 9	3710	5.08	20.27	17.95	183.04
Mortero 10	3350	5.08	20.27	16.21	165.28
Mortero 11	3610	5.08	20.27	17.47	178.11
Mortero 12	3420	5.08	20.27	16.55	168.74
Mortero 13	3350	5.08	20.27	16.21	165.28
Mortero 14	3510	5.08	20.27	16.98	173.18
Mortero 15	3400	5.08	20.27	16.45	167.75
Mortero 16	3110	5.08	20.27	15.05	153.44
Mortero 17	3220	5.08	20.27	15.58	158.87
Mortero 18	3660	5.08	20.27	17.71	180.58
Mortero 19	3450	5.08	20.27	16.69	170.22
Mortero 20	3250	5.08	20.27	15.72	160.35
Mortero 21	3480	5.08	20.27	16.84	171.70
Mortero 22	3200	5.08	20.27	15.48	157.88
Mortero 23	3300	5.08	20.27	15.97	162.82
Mortero 24	3450	5.08	20.27	16.69	170.22
Mortero 25	3400	5.08	20.27	16.45	167.75
Mortero 26	3600	5.08	20.27	17.42	177.62
Mortero 27	3810	5.08	20.27	18.43	187.98
Mortero 28	3500	5.08	20.27	16.93	172.68
Mortero 29	3530	5.08	20.27	17.08	174.16
Mortero 30	3320	5.08	20.27	16.06	163.80
Promedio resistencia fc				16.60 Mpa	169.23 Kg/cm ²
Desviación estándar σ				0.82 Mpa	8.36 Kg/cm ²
Resistencia compresión f'c				15.78 Mpa	160.87 Kg/cm ²
Coefficiente de variación (%)				4.94%	4.94%

Anexo B. Panel fotográficos



Foto. 1 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Santiago Romero



Foto. 2 Transporte de los ladrillos de la ladrillera del señor Francisco Córdoba

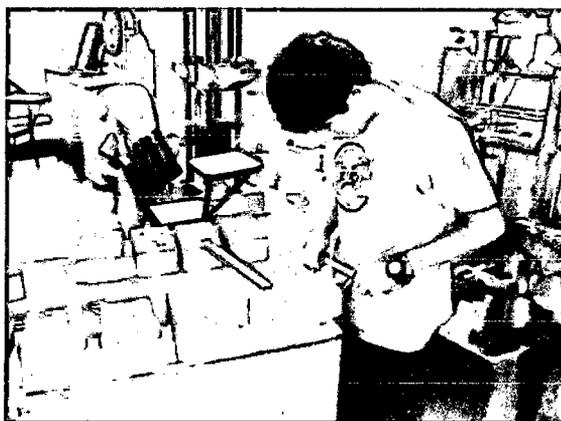


Foto. 3 Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería



Foto. 4 Medición del alabeo



Foto. 5 Ensayo a compresión de unidades de albañilería.



Foto. 6 Ladrillo soportado por varillas –ensayo de succión

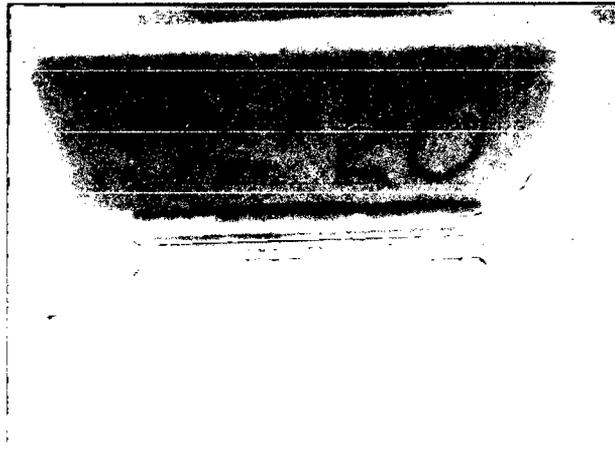


Foto. 7 Registro del peso después de ser sumergidos en agua- ensayo absorción



Foto. 8 Construcción de las pilas



Foto. 9 Falla típica de las pilas de ladrillo

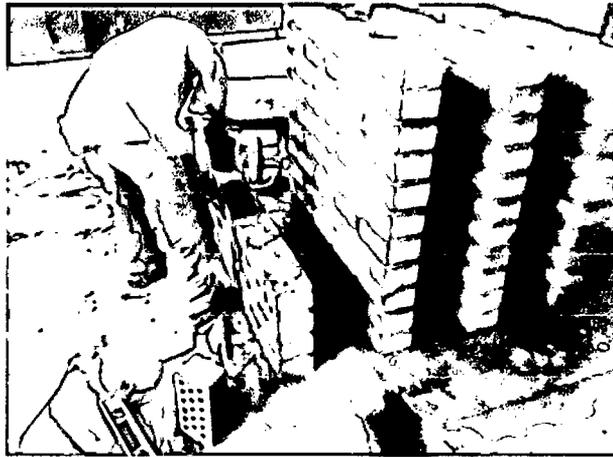


Foto. 10 Control de la junta del murete



Foto. 11 Falla típica de los muretes de ladrillo de arcilla



Foto. 12 Ensayo del peso específico de la arena



Foto. 13 Ensayo de granulometría



Foto. 14 Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino



Foto. 15 Ensayo de peso unitario compactado seco del agregado fino

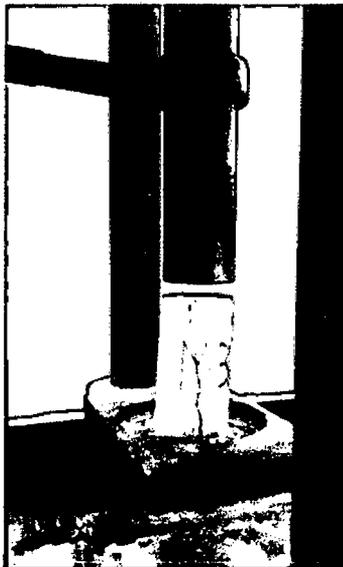


Foto. 16 Falla en el mortero

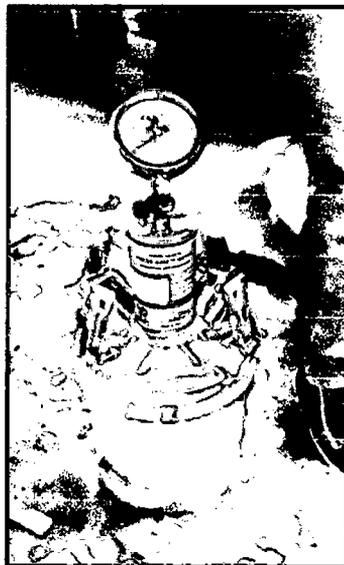


Foto. 17 Comprobación del contenido de aire en la mezcla en la olla de Washington



PACASMAYO

CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 13 de febrero 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.5	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	1.9	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.39	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	9	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.11	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm ² /g	3520	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm ²)	28.4 (290)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm ²)	35.0 (356)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (kg/cm ²)	41.9 (427)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	166	Mínimo 45
Fraguado Final	min	318	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-01-2015 al 31-01-2015.

La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de diciembre 2014.

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff Rojas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.