

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL
ADRILLO KING KONG DEL CENTRO POBLADO EL CERRILLO -
BAÑOS DEL INCA Y LARK DE LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
KLIVER BERNAL CABRERA**

**ASESOR:
Dr. Ing. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMIREZ**

CAJAMARCA PERU 2013



DEDICATORIA

*A Dios por la vida y haberme ayudado a alcanzar
mis metas hasta esta etapa de mi vida.*

*A la memoria de mi adorada Madre Angélica Cabrera
Díaz, por su inmenso amor, protección y guiarme por el
camino de la vida, sembrando en mi la humildad y el
ánimo de ser profesional.*

*A mi querido Padre Eugenio Bernal Cueva, 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 Segunda Ángela, Dionicio, Alejandro,
Edwin Roel, Wigberto, Teodocia, Eva, Noella, Ener y
Lely, por el apoyo incondicional, comprensión y
animarme siempre alcanzar mis metas personales.*

*A mis sobrinos Nery, Wilder, Nely, Enith, Karin,
Ingrit, Miguel Ángel, Geancarlo, Abner, Jheny, Frank,
Marlon, Nicole, Kevin y Silvana, por el cariño y
alegría que me brindan día a día.*

*A mis demás familiares, por su apoyo, comprensión y
palabras de aliento para llegar a ser profesional.*

*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 desde el cielo es mi fortaleza, la
que ha permitido culminar el presente trabajo de
investigación.*

*A mi Padre, hermanos, sobrinos y familiares, por su
apoyo indesmayable, que ha sido el soporte para la
realización de la investigación.*

*A mi asesor de Tesis, Dr. Ing. Hermes Roberto
Mosqueira Ramírez, por sus sugerencias, revisión
y contribución a la realización del presente trabajo
de investigación.*

*A los docentes de la Facultad de Ingeniería, por
compartir sus conocimientos, el cual me ha permitido
realizar la presente investigación.*

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



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRAC.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I: MARCO DE REFERENCIA.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Internacionales.....	1
1.1.2. Nacionales.....	4
1.1.3. Locales.....	9
1.2. MARCO NORMATIVO PERUANO.....	11
1.2.1. Normas Técnicas Peruana.....	11
1.2.2. Norma Técnica Peruana E-070.....	11
1.2.3. Norma Técnica Peruana E-030.....	11
1.3. MARCO TEÓRICO.....	12
1.3.1. Evolución histórica del Ladrillo.....	12
1.3.2. Características de la albañilería.....	13
1.3.3. Tipos de Albañilería y Especificaciones Reglamentarias.....	14
A. Clasificación por la Función Estructural.....	14
a. Muros Portantes.....	15
b. Muros No Portantes.....	16
B. Clasificación por la Distribución del Refuerzo.....	16
a. Muros No Reforzados o de Albañilería Simple.....	17
b. Muros Reforzados (Armados, Laminares y Confinados).....	18
❖ Muros Armados.....	18
❖ Muros Laminares o Sándwich.....	19
❖ Albañilería Confinada.....	20
1.3.4. Componentes de albañilería.....	25
A. Unidad de albañilería.....	25
B. Tipología.....	25
a. Unidades sólidas o macizas.....	25
b. Unidades huecas.....	26
c. Unidades tubulares o pandereta.....	26
d. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.....	27
C. Unidades de Arcilla.....	28
a. Materia Prima.....	28
b. Clasificación de los ladrillo de arcilla.....	29



c. Fabricación.....	29
D. Unidades sílico-calcáreas.....	32
E. Unidades de concreto.....	33
F. Propiedades físicas y mecánicas.....	33
❖ Variabilidad dimensional.....	33
❖ Alabeo.....	34
❖ Absorción.....	35
❖ Succión.....	36
❖ Porcentaje de vacíos.....	36
❖ Resistencia a la compresión.....	37
G. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales.....	38
H. Limitaciones en su aplicación.....	39
I. Tecnología del Mortero.....	40
a. Componentes del Mortero.....	41
❖ Cemento.....	41
❖ Agregado grueso.....	41
❖ Cal Hidratada.....	42
❖ Agua.....	42
b. Ensayo a la compresión.....	42
c. Propiedades.....	43
❖ Fluidez.....	43
❖ Retentividad.....	43
d. Clasificación y proporciones.....	43
J. Acero de refuerzo.....	44
K. Concreto.....	44
1.3.5. Propiedades de la albañilería simple.....	45
a. Modelaje, especímenes y ensayos.....	45
b. Naturaleza de la albañilería y criterios de falla.....	46
c. Ensayo de Prismas (Pilas).....	47
d. Ensayo de Muretes.....	50
1.3.6. Comportamiento Sísmico.....	54
1.4. MARCO CONCEPTUAL.....	57
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
2.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	59
A. Materiales.....	59
B. Equipos.....	59
2.2. MÉTODOS.....	60
2.2.1. Metodología de la investigación.....	60
a. Localización.....	60
b. Periodo de la investigación.....	60
c. Variables.....	61
❖ Independientes.....	61
❖ Dependientes.....	61
d. Tipo de investigación.....	61



e. Población.....	61
f. Muestra.....	61
g. Diseño de la investigación.....	62
h. Técnica del muestreo.....	62
i. Instrumentos de recolección de datos.....	62
j. Análisis de datos.....	62
2.2.2. Procedimientos de la investigación.....	62
A. Ensayo de la granulometría de la arena gruesa.....	62
B. Ensayos clasificatorios del ladrillo.....	63
a. Variabilidad dimensional.....	64
b. Alabeo.....	65
c. Comprensión simple.....	66
C. Ensayos no clasificatorios del ladrillo.....	67
a. Ensayo de succión.....	67
b. Ensayo de absorción.....	69
c. Porcentaje de área de huecos.....	70
D. Prismas de albañilería.....	72
a. Pilas.....	72
❖ Procedimiento de construcción.....	72
❖ Montaje e instrumentación.....	73
❖ Cálculo de la Resistencia a Compresión Axial.....	74
❖ Cálculo del Módulo de Elasticidad.....	76
b. Muretes.....	78
❖ Procedimiento de construcción.....	78
❖ Peso volumétrico de la albañilería.....	80
❖ Instrumentación y montaje.....	80
❖ Calculo de la resistencia al corte.....	81
E. Diseño analítico del mortero.....	83
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	84
3.1. Descripción de las unidades de albañilería ensayadas.....	84
3.2. Ensayos clasificatorios del ladrillo.....	86
a. Variación dimensional.....	86
b. Alabeo.....	89
c. Comprensión simple.....	90
3.3. Ensayos no clasificatorios del ladrillo.....	92
a. Ensayo de succión.....	92
b. Ensayo de absorción.....	93
c. Porcentaje de área de huecos.....	95
3.4. Prismas de albañilería.....	96
a. Pilas	
❖ Ensayo a la Resistencia a Compresión Axial.....	
❖ Cálculo del módulo de elasticidad.....	97
b. Muretes.....	98
❖ Cálculo del peso volumétrico de los muretes.....	98
❖ Ensayo de Resistencia al Corte de los muretes.....	98



❖ Comparación de las resistencias de pilas y muretes.....	99
3.5. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero $f_c = 140$ Kg/cm ²	101
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
A. CONCLUSIONES.....	
B. RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS	107
Anexo N° 1. Análisis granulométrico del agregado fino (arena gruesa).....	107
Anexo N° 2. Diseño analítico de mortero mixto y resultados de ensayo a compresión axial de probetas.....	114
Anexo N° 3. Análisis y resultados de ensayos a compresión axial de pilas de albañilería.....	120
Anexo N° 4. Análisis y resultados de ensayos a resistencia de corte de muretes de albañilería.	128
TABLAS	
Tabla 1. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.	28
Tabla 2. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	39
Tabla 3. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	40
Tabla 4. Granulometría de la arena gruesa	41
Tabla 5. Tipos de Mortero, NTP E-070	43
Tabla 6. Tipos de Mortero, ASTM C-270	44
Tabla 7. Factores de corrección de f_m por esbeltez	50
Tabla 8. Especificaciones técnicas obtenidas de los ensayos del ladrillo del C. P. EL Cerrillo - Baños del Inca	84
Tabla 9. Especificaciones técnicas obtenidas de los ensayos del ladrillo Lark de Lambayeque	85
Tabla 10. Ensayo de variación dimensional del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	86
Tabla 11. Ensayo de variación dimensional del ladrillo Lark – Lambayeque.	87
Tabla 12. Ensayo de alabeo del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	89
Tabla 13. Ensayo de alabeo del ladrillo Lark – Lambayeque.	89
Tabla 14. Ensayo de compresión simple del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	90



Tabla 15. Ensayo de compresión simple del ladrillo Lark – Lambayeque.	91
Tabla 16. Ensayo de succión del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	92
Tabla 17. Ensayo de succión del ladrillo Lark – Lambayeque.	92
Tabla 18. Ensayo de absorción del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	93
Tabla 19. Ensayo de absorción del ladrillo Lark – Lambayeque.	94
Tabla 20. Ensayo del porcentaje de área de huecos del ladrillo Lark – Lambayeque.	95
Tabla 21. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	96
Tabla 22. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.	96
Tabla 23. Cálculo del módulo de elasticidad del ensayo de pilas de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	97
Tabla 24. Cálculo del módulo de elasticidad del ensayo de pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.	97
Tabla 25. Peso volumétrico de muretes de ladrillo	98
Tabla 26. Ensayo a la resistencia de corte en muretes de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.	98
Tabla 27. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.	99
Tabla 28. Relación del módulo de elasticidad vs. $f'm$ y G_m	100
Tabla 29. Análisis de resistencia al corte.	100

FIGURAS

Fig. 1.1 Modelaje de Tabiques de Albañilería (San Bartolomé, A. 1994).	16
Fig. 1.2. Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).	17
Fig. 1.3. Espesor Efectivo de un muro: "t" (San Bartolomé, A. 1994).	18
Fig. 1.4. Muro con refuerzo horizontal y vertical.	19
Fig. 1.5. Muro laminar o sándwich.	20
Fig. 1.6. Muros confinados de ladrillos de arcilla	21
Fig. 1.7. Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado.	22
Fig. 1.8. Disposición mínima de estribos.	23
Fig. 1.9. Unidades de albañilería sólida o maciza	26
Fig. 1.10. Unidades de albañilería huecas	26
Fig. 1.11. Unidades de albañilería tubulares o pandereta	27
Fig. 1.12. Unidades de arcilla.	29



Fig. 1.13. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.	31
Fig. 1.14. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Barbará - Cajamarca.	31
Fig. 1.15. Unidades sólidas Sílico-Calcáreas.	32
Fig. 1.16. Unidades de concreto.	33
Fig. 1.17. Variabilidad dimensional del ladrillo.	34
Fig. 1.18. Alabeo del ladrillo.	35
Fig. 1.19. Absorción del ladrillo.	35
Fig. 1.20. Succión del ladrillo.	36
Fig. 1.21. Porcentaje de Vacíos del ladrillo.	37
Fig. 1.22. Ensayo a la compresión del ladrillo.	38
Fig. 1.23. Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión.	47
Fig. 1.24. Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial.	49
Fig. 1.25. Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo.	51
Fig. 1.26. Esquema de deformación del espécimen (murete)	52
Fig. 1.27. Gráfica para el cálculo experimental de R_d .	55
Fig. 2.1. Selección de la muestra en la cantera el Gavilán y análisis granulométrico de la arena gruesa en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería.	63
Fig. 2.2. Secado y limpieza del ladrillo artesanal e industrial.	65
Fig. 2.3. Medición del largo, ancho y alto de las unidades.	65
Fig. 2.4. Medición del alabeo.	66
Fig. 2.5. Secado, registro de peso y medición de los lados de las unidades.	67
Fig. 2.6. Ensayo a compresión.	67
Fig. 2.7. Secado y registro del peso de los ladrillos.	69
Fig. 2.8. Bandeja para ensayo y succión en ladrillos de arcilla.	69
Fig. 2.9. Absorción en ladrillos de arcilla.	70
Fig. 2.10. Arena de Ottawa en los huecos.	72
Fig. 2.11. Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).	73
Fig. 2.12. Montaje e instrumentación para el ensayo de Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).	74
Fig. 2.13. Falla típica de las pilas de ladrillo del C. P. El Cerrillo.	75
Fig. 2.14. Falla típica de las pilas de ladrillo Lark.	76
Fig. 2.15. Diagrama normalizado esfuerzo Vs deformación unitaria para el ensayo de compresión de prismas de albañilería.	77
Fig. 2.16. Construcción de muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).	79
Fig. 2.17. Muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).	79
Fig. 2.18. Muretes de ladrillo de arcilla con capa de yeso en las equinas.	80



Fig. 2.19. Muretes, listos para ser ensayados en la maquina universal de péndulo.	81
Fig. 2.20. Falla típica de los muretes de ladrillo del C. P. El Cerrillo.	82
Fig. 2.21. Falla típica de los muretes de ladrillo Lark.	83
Fig. 2.22. Especímenes y ensayo del mortero.	83
Fig. 3.1. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por "Mi Ladrillera" en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca.	84
Fig. 3.2. Ladrillo de arcilla elaborado industrialmente por la fabrica "Lark" en Lambayeque.	85



RESUMEN

Los últimos terremotos suscitados en Nazca, Pisco, Ica y Chile, ha demostrado cuan importante son en las edificaciones de albañilería: El ladrillo, la estructuración y el proceso constructivo, especialmente las confinadas.

Esto a motivado a estudiar y conocer el comportamiento de la unidad de albañilería en diferentes ensayos, el cual tuvo como objetivo fundamental determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong fabricado artesanalmente en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca y King Kong elaborado industrialmente por la fábrica Lark en Lambayeque.

Con la finalidad de clasificarlo de acuerdo a la Norma E-070, así mismo evaluar el comportamiento mediante ensayos de la unidad, prismas: pilas y muretes, y establecer comparaciones entre los dos tipos de ladrillo.

La metodología usada fue cuasi-experimental, seleccionando la muestra por juicio o conveniencia: Diez unidades, cuatro pilas y dos muretes de cada tipo de ladrillo, observando la carga elástica y la carga última con la finalidad de evaluar en cada caso las propiedades más importantes como el Módulo de Elasticidad E_m y el Módulo de Corte G_m , a la vez se analizó el comportamiento en cada una de las etapas hasta la falla final.

La investigación muestra los resultados siguientes: las resistencias f_b y f_m y los módulos de elasticidad E_m y corte G_m es mayor en el ladrillo industrial respecto al artesanal; y la resistencia al corte v_m es mayor en el ladrillo artesanal que en el industrial; mostrando una diferencia significativa por el proceso de fabricación.

Palabras clave: Albañilería, ladrillo, pilas, muretes.



ABSTRACT

This present research deals with the recent earthquakes occurred in Nazca, Pisco and Chile. It has shown how important the brick, the structuration and the construction process, specially the confined ones, are in the masonry buildings.

This matter has been the motivation to go on studying and understanding the behavior of the masonry unit within different trials which had as main objective to determine the physical and mechanical properties of the King Kong brick, made through a craftsmanship process from the Centro Poblado El Cerrillo-Baños del Inca, and the King Kong brick industrially produced by the Manufacturers Lark Factory-Lambayeque to classify it according to the E-070 standard norm as well as evaluating its behavior through some trials of the unit, prisms: batteries and low walls in order to establish comparisons between the two types of brick.

The methodology used was quasi-experimental selecting the sample by judgment or convenience: ten units, four batteries and two low walls per each type of brick, observing the elastic load and the ultimate load in order to evaluate, en each case, the most important properties such as the Module of Elasticity E_m and the Module of Cutting G_m . In addition to this, it was analyzed the behavior in each of the stages until the ultimate failure.

This research shows the following results: Resistance f_b y f_m and the Modules of Elasticity E_m and Cutting G_m is higher in the industrial brick than in the craftsmanship one; and the resistance to the Cutting v'_m is higher in the craftsmanship brick than in the industrial one, showing a significant difference because of the manufacturing process.

Key words: Masonry, brick, batteries, low walls



INTRODUCCIÓN

Las edificaciones de albañilería tienen como sistema la integración de la unidad de albañilería y el mortero, usándose en las construcciones de muros portantes y no portantes, según su función estructural que cumplen, dichos muros deben resistir a las sollicitaciones provenientes de las acciones normales como peso propio, sobrecargas de uso y acciones eventuales como los sismos. Adicionalmente a ello la falta de calidad en la fabricación de la unidad de albañilería, el bajo control del espesor de la junta del mortero y la concepción inadecuada del proceso constructivo en la albañilería confinada, ocasionan fisuras en los muros, disminuyendo la capacidad de la estructura a las acciones de las fuerzas estáticas y dinámicas.

La explosión demográfica en Cajamarca a conllevado a una demanda elevada de vivienda, constituyéndose el ladrillo una alternativa masiva para la construcción de las edificaciones, utilizando preferentemente el ladrillo elaborado artesanalmente en los Centros Poblados de Santa Barbará, Huacataz, Otuzco y el Cerrillo del distrito de Baños del Inca, donde el proceso de elaboración es artesanal sin un control de calidad; a la vez el ladrillo Lark de Lambayeque se ha constituido como una alternativa en la mejora de la construcción de viviendas, obteniendo muros a plomo con menos irregularidades, menos cantidad de mortero en las juntas y que posiblemente sea más resistente y rígido ante los efectos del sismo.



Por lo antes descrito nos permite plantear la siguiente pregunta *¿Las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong, del C. P. el Cerrillo – Baños del Inca y Lark de Lambayeque, cumple o nó, la norma E-070?*, conociendo que dicha norma establece los requisitos y las exigencias que debe cumplir el ladrillo destinado a las edificaciones, especialmente en viviendas.

Esta necesidad de conocer la calidad de los dos tipos de ladrillo –artesanal e industrial-, incentivo la presente investigación, planteándose como **objetivo general** determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong, del centro poblado el Cerrillo – Baños del Inca y Lark de Lambayeque; siendo los **objetivos específicos**: Clasificar los dos tipos de ladrillo acuerdo a la norma E – 070; realizar ensayos de pilas y muretes, a fin de conocer el comportamiento ante las cargas aplicadas a compresión axial y diagonal respectivamente; y, establecer comparaciones de los resultados de los ensayos de albañilería entre el ladrillo artesanal e industrial.

El adecuado uso de los materiales en las edificaciones, reduce el riesgo al colapso ante sollicitaciones de fuerzas sísmicas evitando la pérdida de vidas humanas, y reduce el fisuramiento de los muros portantes y no portantes, limitando el uso a los niveles que indica la Norma E-070.

La determinación de las propiedades físicas y mecánicas, demostró que los dos tipos de ladrillo se clasifican como ladrillo clase II, teniendo un mejor comportamiento el ladrillo industrial respecto al artesanal en los ensayos de: Resistencia a la compresión axial de la unidad de albañilería (f'_b), resistencia a la



compresión axial de la albañilería (f'_m) en pilas de 6 hiladas; pero en el ensayo de la resistencia característica de la albañilería al corte obtenido mediante muretes de 1.00 * 1.00 m, ensayados a compresión diagonal, el ladrillo artesanal tuvo mayor v'_m , mostrando 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; mientras que, en el ladrillo industrial la falla fue inclinada, escalonada, frágil y se trituró el ladrillo en los puntos de apoyo de los ángulos. Este comportamiento de los muretes ha seguido la actuación de una estructura no confinada ante sollicitaciones sísmicas, es decir en tracción diagonal.



CAPITULO I: MARCO DE REFERENCIA

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. 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/cm^2 a la rotura. Lo importante, de todas maneras es que sus medidas estén relacionadas entre si 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 una 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 $0.387 \text{ g/cm}^2/\text{min}$, 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 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ en la mejor posición dentro del horno, pues hay zonas donde la temperatura escasamente alcanza los $250 \text{ }^\circ\text{C}$; 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.

1.1.2. Nacionales.

E. Sánchez. 1982. Estudio de la variabilidad en la calidad de los ladrillos producidos en la ciudad de Lima. PUCP.

De alrededor de 50 ladrilleras (incluyendo las clandestinas) existentes en la ciudad de Lima en el año de 1982, se seleccionaron 14 que producían unidades de arcilla para muros portantes. Estas ladrilleras fueron seleccionadas contemplando su productividad, cantera, tipo de horno y sistema de moldeo. Posteriormente, se efectuaron ensayos de compresión, flexión, absorción, succión, densidad y alabeo sobre las unidades respectivas. Las principales conclusiones fueron que: No existe control en la calidad de producción (excepto en dos de las ladrilleras muestreadas), por lo que la dispersión de resultados en todas las pruebas resultó elevada; el ladrillo King Kong artesanal, en todos los casos, fue clasificado como tipo II, de acuerdo a las normas ITINTEC; mientras que los de moldeo mecánico clasificaron entre los tipos III y V; el grado de cocción influye sustancialmente sobre la resistencia a compresión; los ladrillos colocados en la parte baja de los hornos abiertos llegaron a tener una resistencia



100% mayor respecto a los ubicados en la zona alta del horno; la succión varió entre 45 a 100 gr/200cm²-min, por lo que es necesario regar las unidades de arcilla (artesanal e industrial) un día antes de asentarlas.

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/cm²) 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%. Lógicamente este proceso no es aplicable en obra.

Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados – efectos del refuerzo. Lima, PUCP.

Se investigó el refuerzo horizontal en los muros de albañilería debido a que los elementos de confinamiento no resultan eficientes en la etapa de post-agrietamiento diagonal, especialmente en las zonas centrales del muro en donde el tamaño de la grieta es grande, se construyeron 4 muros con diferente refuerzo y un muro patrón sin refuerzo. Estos muros se ensayaron a carga lateral cíclica y se pudo concluir lo siguiente: El refuerzo horizontal disminuyó, en etapas de grandes desplazamientos laterales, el deterioro de la albañilería y el de las columnas. A mayor refuerzo, se originan mas fisuras pero estas son a su vez más finas. Se observó que es importante que el refuerzo horizontal se ancle en la columnas con un gancho de 90°. Para evitar la pérdida de anclaje cuando se genere fisuras por flexión en las columnas.

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.

San Bartolomé, A. 2007. Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de pisco del 15-08-2007", Lima, PUCP.

El objetivo de este artículo es indicar los errores cometidos en las construcciones de albañilería, debido a los cuales se produjeron daños catalogados desde leves



hasta estados de colapso total, cuando estas edificaciones fueron sometidas a la acción del sismo de Pisco ($M_s = 7.0$, $M_w = 8.0$), ocurrido el 15 de agosto del 2007, concluyendo que el sismo del 15-08-2007, calificado desde el punto de vista estructural por el autor como "leve" para Lima y "moderado" para Pisco o Chincha, puso al desnudo una serie de errores que se cometen en las edificaciones de albañilería, principalmente por el aspecto informal con que se construyen estos sistemas, pese a la existencia de normas nacionales de construcción y diseño estructural; ningún tipo de estructura debió construirse en la zona licuada de Tambo de Mora, por lo que se propone la creación de un museo de sitio, para que la humanidad entera no repita este error, especial precaución deberá tomarse con las edificaciones ubicadas en los pantanos de Villa, donde a pesar que el sismo fue "leve" en Lima, hubo indicios de licuación; y, los daños severos en Pisco se presentaron principalmente en las zonas arenosas con napa freática elevada. Para este tipo de suelo debe exigirse el empleo de cimentaciones rígidas de concreto armado para todo tipo de edificación.

San Bartolomé, A; Angles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados contruidos con ladrillos de concreto y de arcilla. Lima, PUCP.

En esta investigación se analizó la influencia del dos tipos de ladrillo: de concreto vibrado y de arcilla cocida, en el comportamiento sísmico de la albañilería confinada, para lo cual, en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP, se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros con las mismas características, pero contruidos cada uno con los ladrillos indicados anteriormente; concluyendo que de acuerdo a los resultados de los ensayos, los



ladrillos de concreto y de arcilla calificaron como unidades sólidas, aptas para ser utilizadas en la construcción de muros portantes; la resistencia a compresión ($f'm$) fue similar tanto para las pilas construidas con ladrillos de arcilla como para las hechas con ladrillos de concreto; la conexión a ras columna-albañilería en los dos muros confinados, evitó problemas que muchas veces se presentan con la conexión dentada tradicional: cangrejeras bajo los dientes y rotura de dientes al compactar el concreto de las columnas. Adicionalmente, los chicotes colocados en los extremos de la albañilería cada dos hiladas, permitieron que el desplazamiento en la conexión columna-albañilería sea menor de 1mm.

1.1.3. 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 las 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 empleo 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 comprensión 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.

1.2. MARCO NORMATIVO PERUANO

1.2.1. Normas Técnicas Peruana

Las normas NTP 331.017, 399.604 y 399.613, establecen los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para uso de albañilería estructural y no estructural; y, los procedimientos para el muestro y ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, respectivamente.

1.2.2. Norma Técnica Peruana E-070

Establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

1.2.3. Norma Técnica Peruana E-030

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con la filosofía del diseño sismorresistente, a fin de evitar pérdidas de vidas,



asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Evolución histórica del Ladrillo.

Se sabe que el ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Medio Oriente que tenían sus centros en territorios que hoy corresponden a Irak e Irán aproximadamente, pero que extendían mucho más su influencia y se remontan en el tiempo a más de dos mil quinientos años antes de nuestra era. Desde esa región, las caravanas de pueblos nómades y, sucesivamente, las conquistas de Alejandro Magno, las del Imperio Romano y las rutas comerciales de Marco Polo pusieron en contacto a las diversas culturas y contribuyeron a generalizar, entre otras costumbres y modalidades, el uso del ladrillo (Bianucci, MA. 2009).

Desde el descubrimiento del fuego, más de 100.000 años atrás, sólo hace alrededor de 7.000 de cuando descubriera que humectando, amasado, secado y posteriormente sometiendo a cocción a las arcillas, éstas se tornaban estables y resistentes, logrando lo que se conoce como cerámica; y apenas 5.500 años que los sumerios aplicaran por primera vez la cerámica a la construcción, elaborando ladrillos que reemplazaban a la piedra. Esto ocurrió en las llanuras mesopotámicas, donde se establecen las tribus nómadas dando origen al sedentarismo que hace surgir las primeras ciudades del mundo, en Sumeria, y



que propicia el desarrollo de las construcciones de ladrillos. Estos a su vez brindan la posibilidad de ser combinados y trabados entre sí, facilitando la rigidización de la mampostería.

Ya en el siglo XX, fueron España e Italia los países que más contribuyeron nuevos criterios de diseño de los más actuales ladrillos cerámicos. En tanto, en América, las civilizaciones precolombinas no muestran antecedentes del uso del ladrillo. Para la mayoría de las construcciones importantes se recurría a la piedra encuadrada y pulimentada.

Los Incas y sus predecesores utilizaban la piedra en el altiplano y el adobe en regiones costeras, lo que en general se repetían en todo tipo de construcciones¹.

En cuanto al Perú, los ladrillos de arcilla llegaron en la época de la colonia española, y la primera fábrica de ladrillos fue construida en Lima en el año de 1856.

Cerrando la historia, indicaremos que en el Perú, los primeros ensayos sobre elementos de albañilería se realizaron en la década de los 70 y los escasos resultados alcanzados hasta el año de 1982, fueron utilizados para la elaboración de nuestro primer reglamento relativo específicamente a la albañilería (Norma E-070, ININVI-82); a la fecha continúan las investigaciones².

1.3.2. Características de la albañilería.

Al respecto, Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Mencionan que la albañilería es un material estructural compuesto que, en su forma tradicional, está integrado por unidades asentadas con mortero. En consecuencia es un material de unidades

¹ Bianucci, MA. El Ladrillo. Orígenes y Desarrollo (en línea). Chaco, Argentina. Consultado 9 feb. 2013. Disponible en <http://arquitectnologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>.

² San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de Albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP. 246 p. (Serie Ingeniería Civil).



débilmente unidas o apegadas. Este hecho confirmado por ensayos y por la experiencia, permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico que tiene por naturaleza, una resistencia a la compresión elevada, dependiente principalmente de la unidad, mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero.

En los últimos años se han introducido modificaciones importantes como:

- Incorporación cada vez más mayor de unidades hechas a máquinas (sólidas o huecas) fabricadas con diferentes materias primas (arcilla, hormigón, hormigones livianos, etc).
- Uso masivo de mortero de cemento-arena y morteros mixtos (cemento-cal-arena).
- Incorporación de unidades que no requieren mortero para su unión (Mortarless block o unidades tipo mecano), rellenas con hormigón líquido o "grout".
- Uso de mortero de capa delgada.

Considerando estos antecedentes, para abordar un diseño racional con este material se deben desarrollar los estudios necesarios para:

- Conocer las propiedades físicas y mecánicas del material.
- Establecer las mejores técnicas o prácticas de construcción.
- Redactar y perfeccionar las normas con las cuales se realice el diseño y cálculo de las construcciones de albañilería.

1.3.3. Tipos de Albañilería y Especificaciones Reglamentarias.

A. Clasificación por la Función Estructural. Según la función estructural son los muros portantes y no portantes.



a. Muros Portantes. Muro diseñado y 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 (NTP E-070).

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 ó 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 en los siguientes sitios:
 - En cambios de espesor en la longitud del muro; para el caso de Albañilería Armada.
 - En donde haya juntas de control en la cimentación, en las losas y techos.
 - En alféizar de ventanas o cambios de sección apreciable en un mismo piso.
- 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.

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. Por lo general, en estos elementos se emplea mortero de baja calidad y ladrillos tubulares (perforaciones paralelas a la cara de asentado) denominados "pandereta", cuya finalidad es aligerar el peso del edificio, con el consiguiente decrecimiento de las fuerzas sísmicas. Sin embargo, si los tabiques no han sido cuidadosamente aislados de la estructura principal, haciéndolos "flotantes", se producirá la interacción tabique-estructura en el plano del pórtico (San Bartolomé, A. 1994).

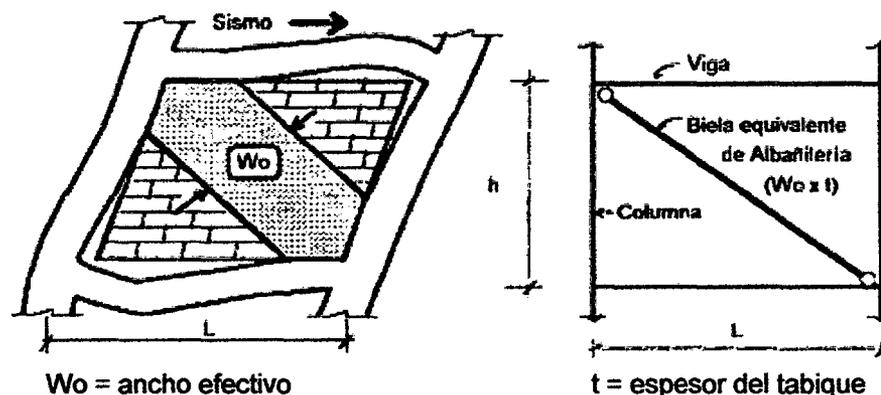


Fig. 1.1 Modelaje de Tabiques de Albañilería (San Bartolomé, A. 1994).

B. Clasificación por la Distribución del Refuerzo. De acuerdo a la distribución del refuerzo, los muros se clasifican en:

a. Muros No Reforzados o de 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 Cajamarca existen muchas viviendas de albañilería no reforzada, incluso de dos 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 (V_R en la fig. 1.2) 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.

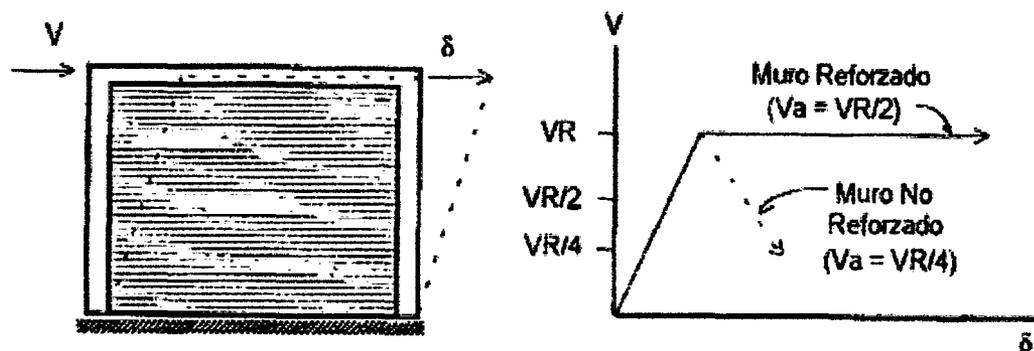


Fig. 1.2. Fuerza cortante admisible "Va" (San Bartolomé, A. 1994).

El espesor efectivo del muro (fig. 1.3) se define como su espesor bruto descontando los acabados (por el posible desprendimiento del tarrajeo producto de las vibraciones sísmicas), las bruñas u otras indentaciones. De acuerdo a la Norma E-070, el espesor efectivo mínimo a emplear en los muros no reforzados debe ser: $t = h/20$ para zonas sísmicas 2 y 3, y $t = h/25$ para zonas sísmicas 1, donde "h" es la altura libre de piso a techo, o altura de pandeo. Esta fórmula proviene de considerar posibles problemas de pandeo cuando los muros esbeltos se ven sujetos a cargas perpendiculares a su plano, o a cargas verticales excéntricas.

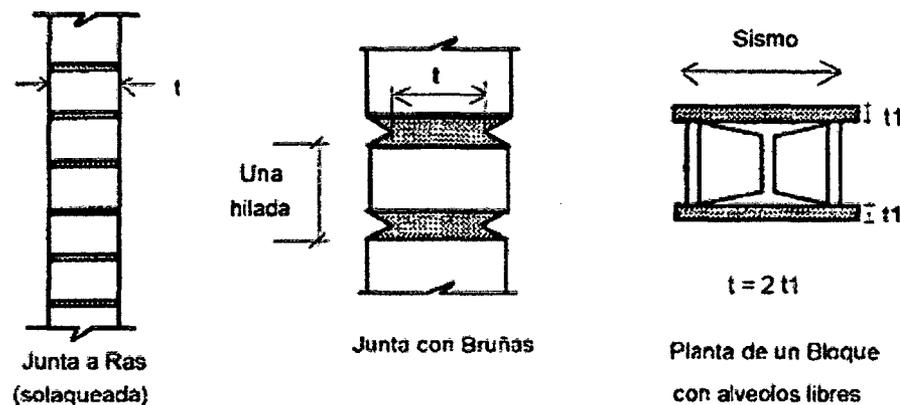


Fig. 1.3. Espesor Efectivo de un muro: "t" (San Bartolomé, A. 1994).

b. Muros Reforzados (Armados, Laminares y Confinados).

- ❖ **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. 1.4).

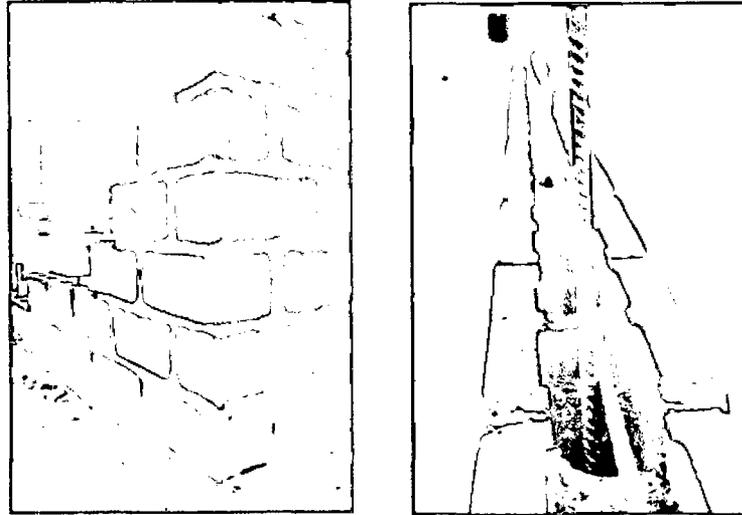


Fig. 1.4. Muro con refuerzo horizontal y vertical.

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. (NTP E-070, 2006).

- ❖ **Muros Laminares o Sándwich.** 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. 1.5). 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 sílico-calcareos, 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).

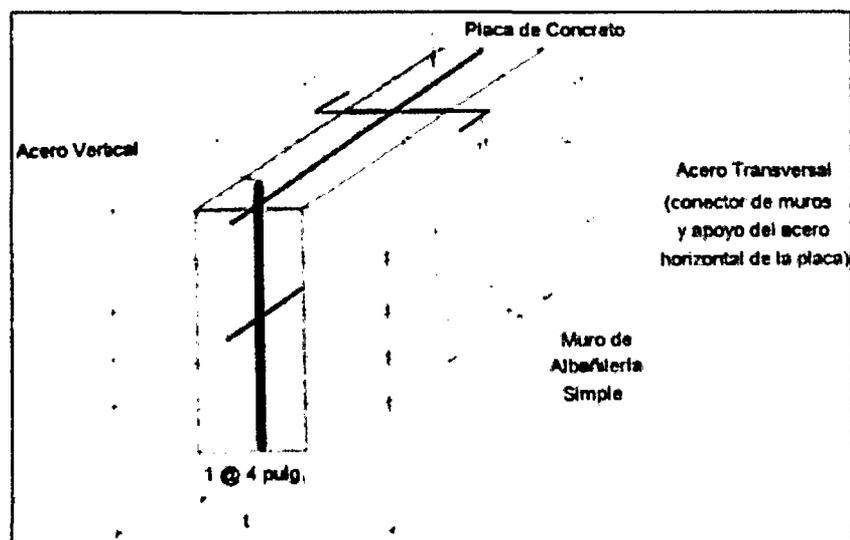


Fig. 1.5. Muro laminar o sándwich.

❖ **Albañilería Confinada.** Este es el sistema que tradicionalmente se emplea en casi todo el Perú para la construcción de viviendas de hasta 4 pisos (fig. 1.6).

Según, San Bartolomé, A. 1994, 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.

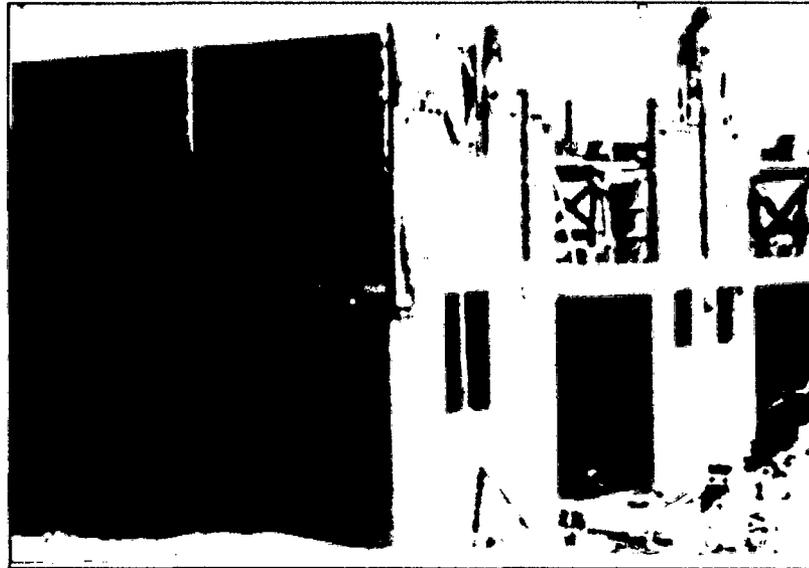


Fig. 1.6. Muros confinados de ladrillos de arcilla

El pórtico de concreto armado, que rodea al muro, sirve principalmente para ductilizar al sistema; esto es, para otorgarle capacidad de deformación inelástica, incrementando muy levemente su resistencia, por el hecho de que la viga ("solera", "viga collar", "collarín" o "viga ciega") y las columnas son elementos de dimensiones pequeñas y con escaso refuerzo. Adicionalmente, el pórtico funciona como elemento de arrioste cuando la albañilería se ve sujeta a acciones perpendiculares a su plano.

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. 1.7).

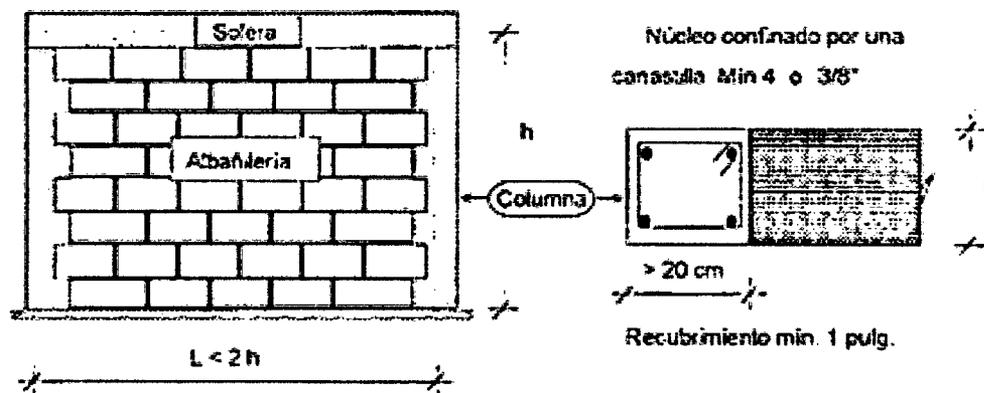


Fig. 1.7. Requisitos mínimos para que un muro se considere confinado

(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 doblado 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 $\frac{3}{4}$ 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 (fig. 1.8).

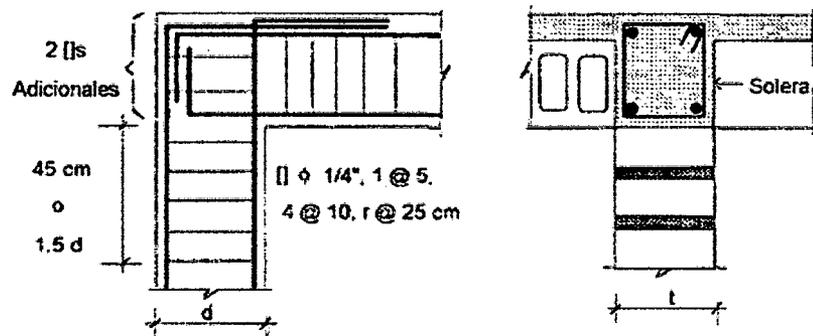


Fig. 1.8. Disposición mínima de estribos (San Bartolomé, A. 1994).

- 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.



1.3.4. Componentes de albañilería.

A. Unidad de albañilería. La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería, se elabora de materias primas diversas como la arcilla, concreto y la mezcla se sílice y cal. Se forma mediante el moldeado y compactación; produciéndose a través de fábricas industriales, bajo un control de calidad o en precarias canchas artesanales, sin ningún control de calidad; por lo que no debe extrañar las formas, tipos, dimensiones y pesos sean variables y pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares.

Las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.

B. Tipología. 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 o macizas. Son las que no tienen huecos o, en todo caso, presentan alveolos o perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento que cubren un área no mayor al 30% del área de la sección bruta en el mismo plano (fig. 1.9).

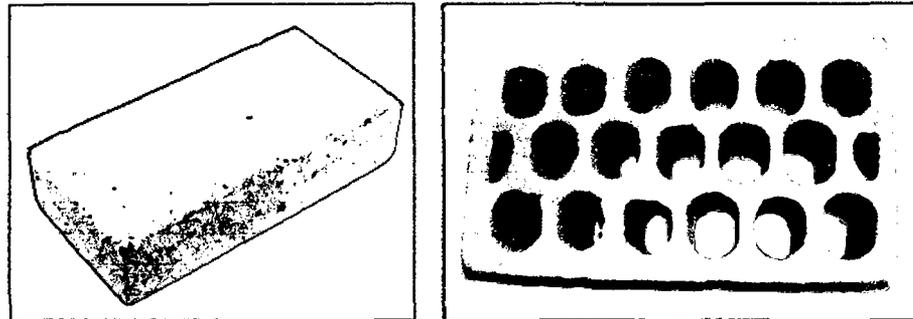


Fig. 1.9. Unidades de albañilería sólida o maciza

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. 1.10).

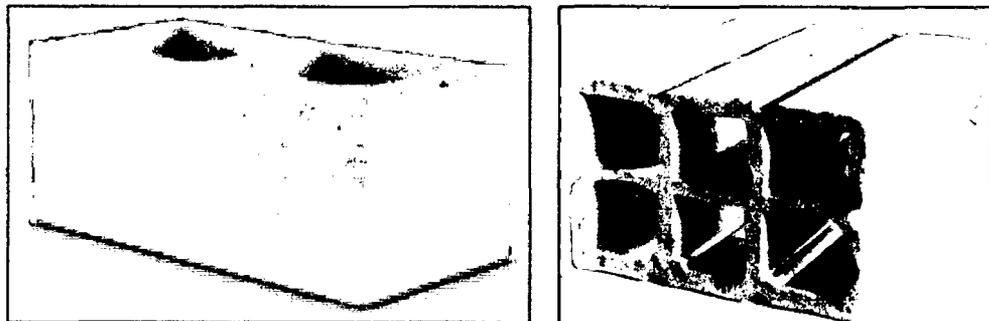


Fig. 1.10. Unidades de albañilería huecas

c. Unidades tubulares o pandereta. Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento (fig. 1.10).

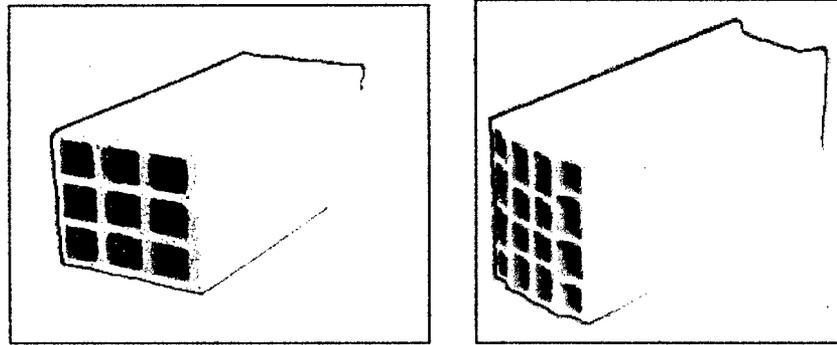


Fig. 1.11. Unidades de albañilería tubulares o pandereta

d. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería. Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005, mencionan que al margen del valor de la resistencia a la compresión, de las unidades de los diversos tipos, la diferencia del comportamiento radica en la fragilidad de la falla. Las unidades sólidas son las únicas que muestran un comportamiento razonablemente dúctil, sin fallas explosivas, mientras que todas las otras presentan fallas explosivas o frágiles, ya sea como unidades individuales o como componentes de un muro. La consecuencia de este hecho es que las unidades huecas y perforadas son admitidas con condiciones, y las tubulares no son admitidas para construcciones de muros portantes, particularmente en zonas sísmicas. Cuando las unidades huecas se llenan con concreto líquido su comportamiento en la falla se modifica, ductilizándose, entonces pueden ser admitidas para la construcción de muros portantes. En la Tabla 1, se señala las limitaciones de aplicación estructural de los diferentes tipos de unidades de albañilería.



Tabla 1. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.

Tipo	Posibilidad de aplicación			
	Muro en zona sísmica		Muro en zona no sísmica	
	Portante	No Portante	Portante	No Portante
Sólida	Óptima	Aplicable, pero muy pesada y costosa	Óptima para cargas elevadas	Aplicable, pero muy costosa
Hueca	No aplicable tal cual. Óptima si se llenan alvéolos con concreto líquido	Óptima	No aplicable	Óptima
Tubular	No aplicable	Óptima	No aplicable	Óptima

Fuente: Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005.

C. Unidades de Arcilla. 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 ladrillo 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.)

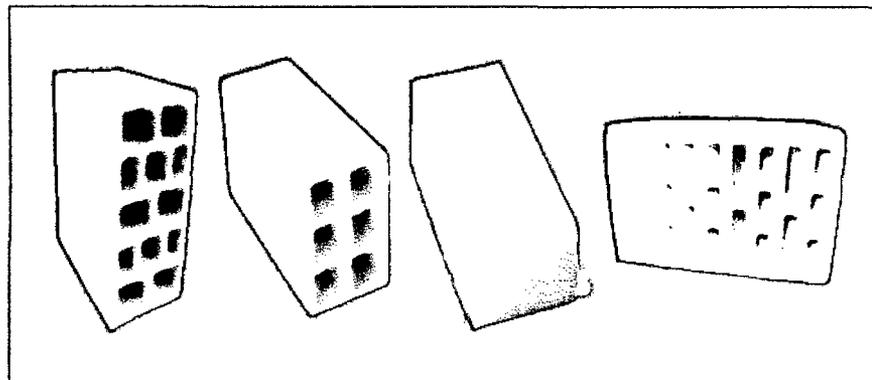


Fig. 1.12. Unidades de arcilla.

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.**

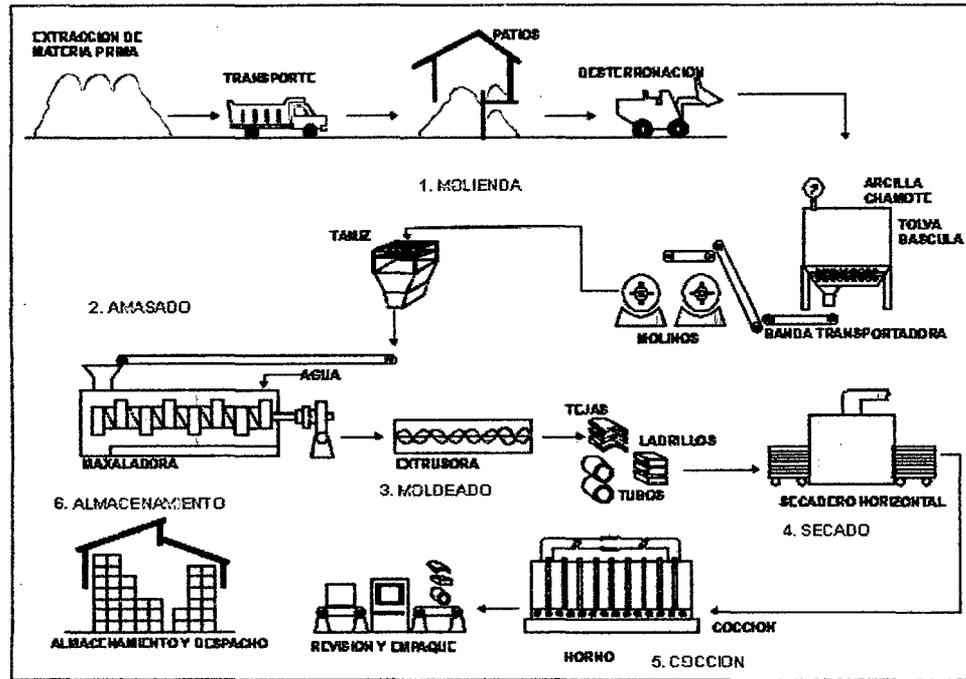


Fig. 1.13. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera industrial.

Fernández, K. 2010, esquematiza el proceso de elaboración del ladrillo artesanal en el Centro Poblado Santa Barbará, y que es similar a los procesos de fabricación en los Centros Poblados del Cerillo, Huacataz y Otuzco, distrito de Baños del Inca, precisando que estas unidades son usadas para la construcción de la mayoría de viviendas en la ciudad de Cajamarca y distritos aledaños.

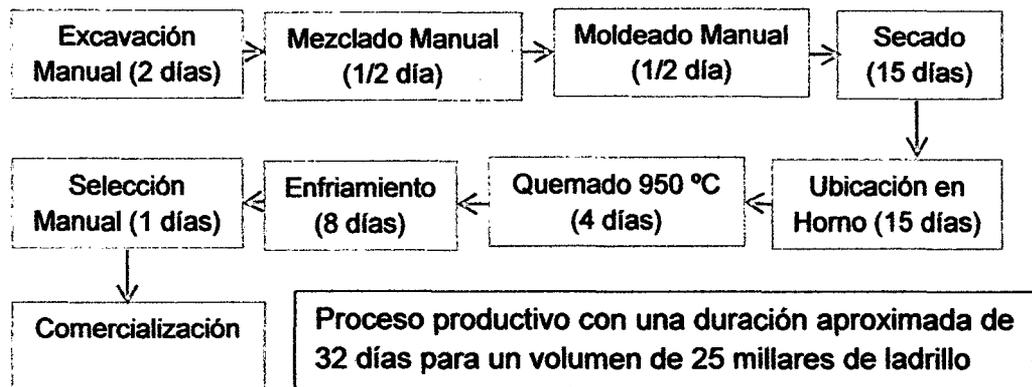


Fig. 1.14. Diagrama de fabricación de unidades de arcilla de manera artesanal en Santa Barbará - Cajamarca.

D. Unidades sílico-calcáreas. La materia prima que compone estas unidades

son: La cal hidratada (10%) y arena (con un 75% de sílice), lo que da lugar a unidades de color blanco grisáceo, aunque puede añadirse pigmentos que le proporcionan otras tonalidades. La dosificación de los materiales (incluyendo agua) se hace en peso, y para el moldeo de las unidades se utilizan prensas mecánicas o hidráulicas. Luego, las unidades se endurecen curándolas a vapor en cámaras "autoclave" con elevada presión (entre 8 a 17 atmósferas). Durante este proceso la cal reacciona químicamente con el silicio, formando un agente cementante (silicato cálcico hidratado) que une las partículas de arena (San Bartolomé, A. 1994).

La ventaja de estas unidades sobre las de arcilla es que sus dimensiones entre el estado crudo y el producto terminado prácticamente no varían; asimismo, por el proceso mecanizado en su fabricación, tienen muy poca variación en su resistencia a compresión, que suele ser alta. La principal desventaja de estas unidades es que su textura es suave, con poros muy cerrados, esto hace que la adherencia mortero-unidad sea reducida; por esta razón, últimamente se han producido unidades sílico-calcáreas con estrías y perforaciones en su superficie de asentado (San Bartolomé, A. 1994).

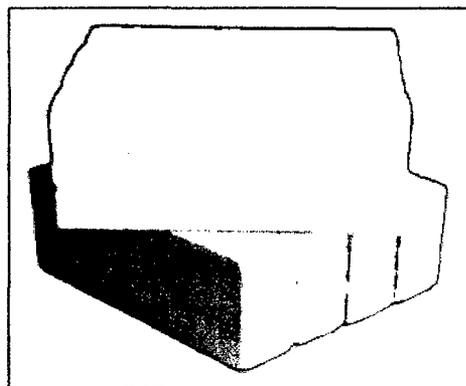


Fig. 1.15. Unidades sólidas Sílico-Calcáreas.

E. Unidades de concreto. Estas unidades pueden ser artesanales (ladrillos) o industriales (ladrillos y bloques), con un tono gris verdoso, aunque puede agregarse pigmentos que varíen su color. Su textura usual es gruesa, con poros abiertos, y su peso puede aligerarse empleando piedra pómez como agregado (San Bartolomé, A. 1994).

La ventaja de las unidades de concreto sobre las anteriores es que dependiendo de la dosificación que se emplee (cemento-arena-confitillo-agua), pueden lograrse unidades con una resistencia que dependa del uso a que se destine (San Bartolomé, A. 1994).

Se hacen exclusivamente de cemento portland, agregados grueso y agua. Dependiendo de los requisitos específicos, las mezclas pueden contener otros ingredientes especiales.

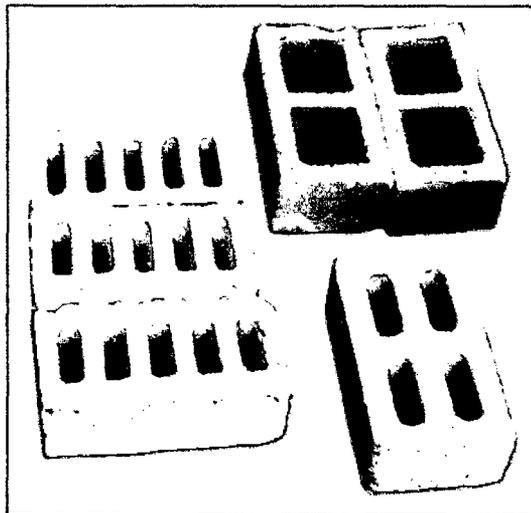


Fig. 1.16. Unidades de concreto.

F. Propiedades físicas y mecánicas.

- ❖ **Variabilidad dimensional.** Las dimensiones de la unidad, según la Norma NTP 331.017, se expresan como: largo x ancho x altura (L x b x 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, 2006).

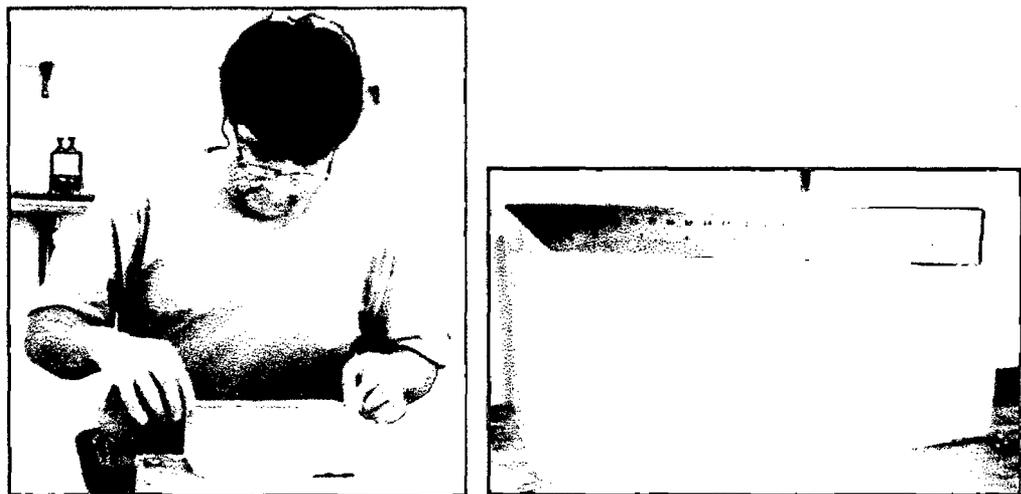


Fig. 1.17. Variabilidad dimensional del ladrillo.

- ❖ **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, 2006).



Fig. 1.18. Alabeo del ladrillo.

❖ **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, 2006).



Fig. 1.19. Absorción del ladrillo.

- ❖ **Succión.** De acuerdo a lo indicado en la Norma E-070, consiste en medir un volumen (V_1 , en cm^3) 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 (V_2 , en cm^3) de agua; la succión normalizada a un área de 200 cm^2 , se obtiene como:

$$\text{SUCCIÓN} = 200 (V_1 - V_2) / A, \text{ expresada en } \text{gr}/200 \text{ cm}^2\text{-min.}$$

Donde: "A" es el área bruta (cm^2) de la superficie de asiento de la unidad.

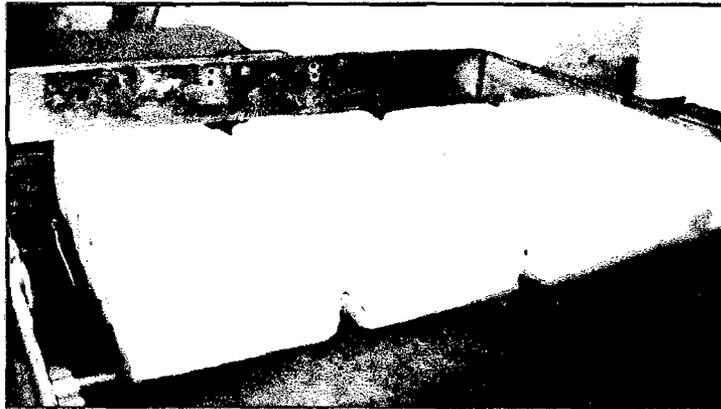


Fig. 1.20. Succión del ladrillo.

- ❖ **Porcentaje de vacíos.** Es el cálculo del área equivalente de vacíos, al plano paralelo a la superficie de asiento con un valor menor al 30%, como indica la Norma E-070 y el procedimiento para la determinación del porcentaje de vacíos indica la NTP 399.13.

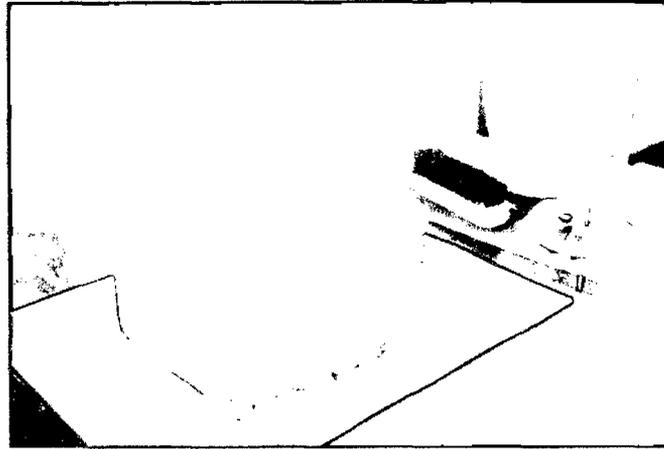


Fig. 1.21. Porcentaje de Vacíos del ladrillo.

❖ **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 (NTP E-070, 2006).

San Bartolomé, A. 1994, señala que la resistencia a compresión ($f'b$) expresa sólo la calidad de la unidad empleada, ensayada bajo las mismas condiciones. Esto se debe a que el valor $f'b$ depende de la altura de la probeta (a menor altura, mayor resistencia), del capping empleado y de la restricción al desplazamiento lateral impuesto por los cabezales de la

máquina de ensayos (acción de confinamiento transversal a la carga aplicada).

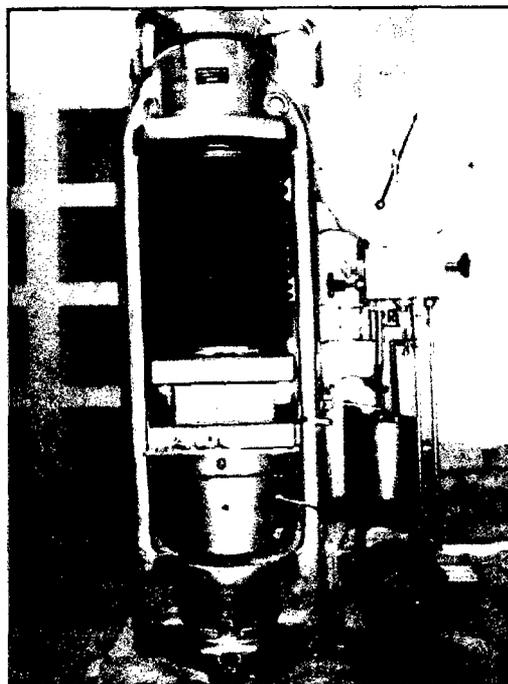


Fig. 1.22. Ensayo a la compresión del ladrillo.

G. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales.

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 yagua.

- 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.

H. 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 Sismorresistente; 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.

I. Tecnología del 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.

❖ **Cemento.** Se utiliza básicamente el cemento portland tipo I y excepcionalmente, el cemento portland tipo II, resistente a los sulfatos. Cuando se emplee cemento puzolánico IP, 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.

❖ **Agregado grueso.** Estará constituido por arena gruesa 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 gruesa

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: NTP 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.
 - El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
 - No deberá emplearse arena de mar.
- ❖ **Cal Hidratada.** Debe ser hidratada y normalizada; a que puede existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. El peso volumétrico de la cal es del orden de 640 Kg/m^3 .
- La cal en el mortero, a diferencia del cemento, endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación.
- La carbonatación resulta beneficiosa para el mortero por 2 razones:
- Las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, los que proveen alguna resistencia adicional sobre la dada por el cemento.
 - Al endurecer lentamente se favorece la retentividad de la mezcla.
- ❖ **Agua.** El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.
- b. Ensayo a la compresión.** El ensayo de compresión en probetas de mortero (usualmente cubos de 5 cm de lado, 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. Propiedades.

- ❖ **Fluidez.** Se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder discurrir (fluir), o de ser trabajable con el badilejo; en tanto que la Retentividad.
- ❖ **Retentividad.** Se define como la capacidad que tiene la mezcla para mantener su consistencia, o de continuar siendo trabajable después de un lapso de tiempo.

d. **Clasificación y proporciones.** 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 (NTP E-070, 2006).

- De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 5, (NTP E-070, 2006).

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

J. Acero de refuerzo. La armadura deberá cumplir con lo establecido en las Norma Barras de Acero con Resaltes para Concreto Armado (NTP 341.031).

Sólo se permite el uso de barras lisas en estribos y armaduras electrosoldadas usadas como refuerzo horizontal. La armadura electrosoldada debe cumplir con la norma de Malla de Alambre de Acero Soldado para Concreto Armado (NTP 350.002).

K. Concreto. El concreto de los elementos de confinamiento tendrá una resistencia a la compresión mayor o igual a 17,15 MPa (175 Kg/cm²) y deberá cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica de Edificación E-060 Concreto Armado.



1.3.5. Propiedades de la albañilería simple.

a. 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.

b. Naturaleza de la albañilería y criterios 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 componentes. La descripción cuantitativa de la falla en albañilería no puede basarse en un único criterio general, sino en los diversos modos en que esta puede ocurrir en un material compuesto, (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

c. 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. 1.23). Los prismas se llenan con concreto líquido (unidades huecas), asentadas o apiladas (unidades sólidas), (Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).

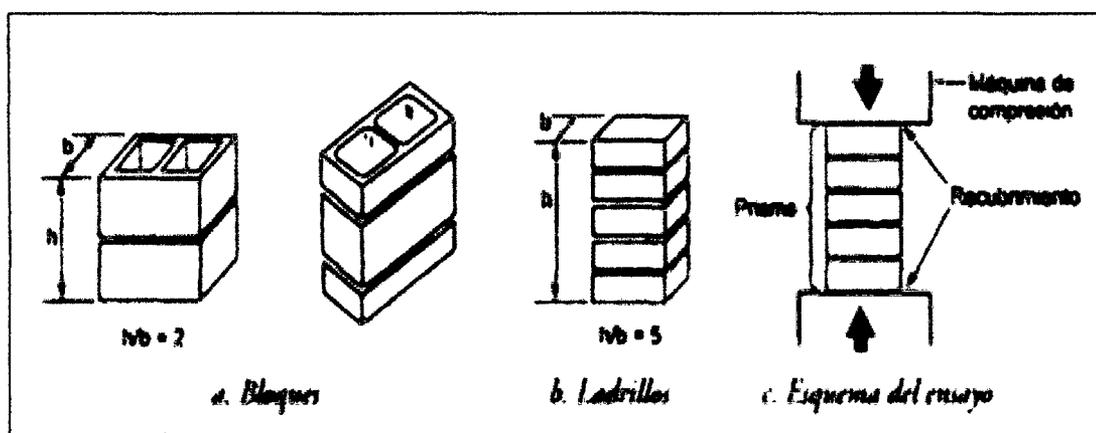


Fig. 1.23. Prisma (pila) estándar para el ensayo de compresión

(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, 2006).

La resistencia característica (f'_m) en pilas, se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar (NTP E-070, 2006).

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 prima, y en un muro real de albañilería, el ladrillo y el mortero 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, en el prima cargado, está sometido a compresión triaxial, y el ladrillo a una combinación de compresión axial y tracción biaxial.

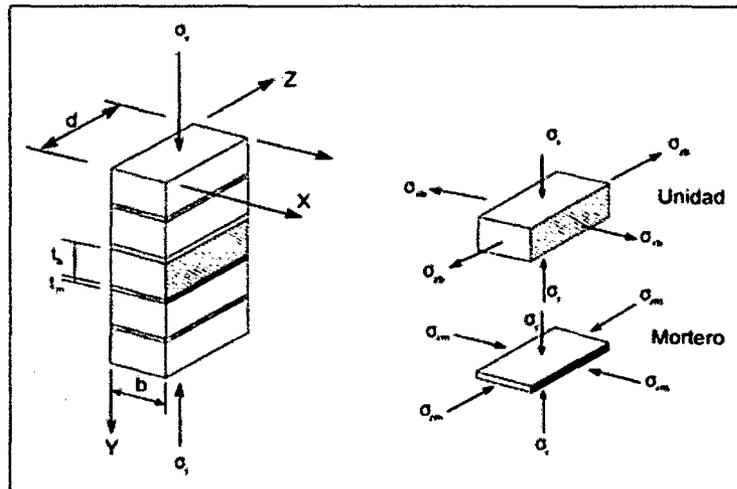


Fig. 1.24. Esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de la carga unitaria axial.

(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.

d. Ensayo de Muretes. El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal debe medir 1.20 m. debe ser de albañilería cuyas características se requiere determinar y del espesor del muro investigado. En muchas investigaciones se han ensayo especímenes de menor dimensión, esto es posible siempre y cuando se calibren 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. 1.23).

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.

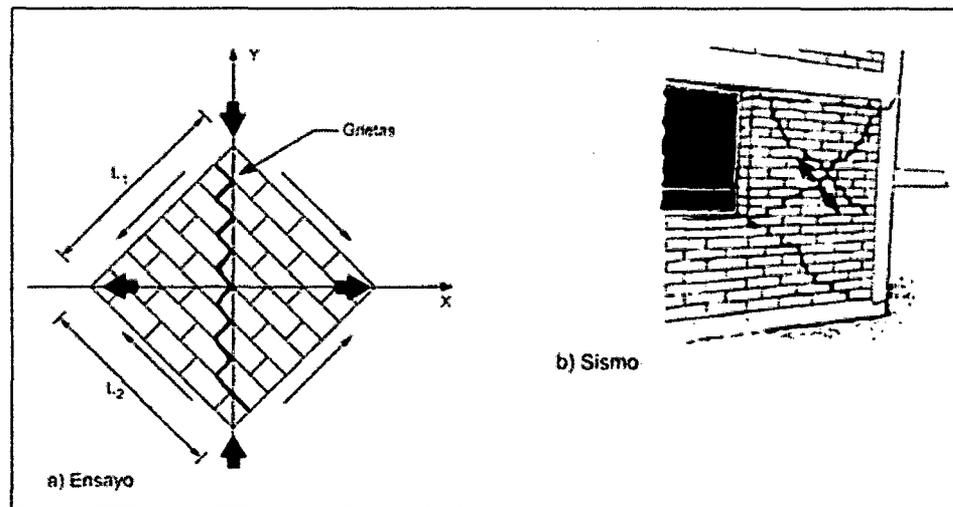


Fig. 1.25. Similitud de la falla en el ensayo de corte (compresión diagonal) y en un sismo

(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, 2006).

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:

$$v_m = \frac{P_u}{A_n} \quad (1.1)$$

$$v'_m = v_m^{-s} \quad (1.2)$$

Donde:

P_u : Carga de rotura

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

s : Desviación estándar.

$$A_n = \frac{1}{2}(L_1 + L_2)by \quad (1.3)$$

En la que:

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

b : Espesor efectivo de murete

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

La deformación por corte mostrada en el esquema (fig. 1.26), se calcula:

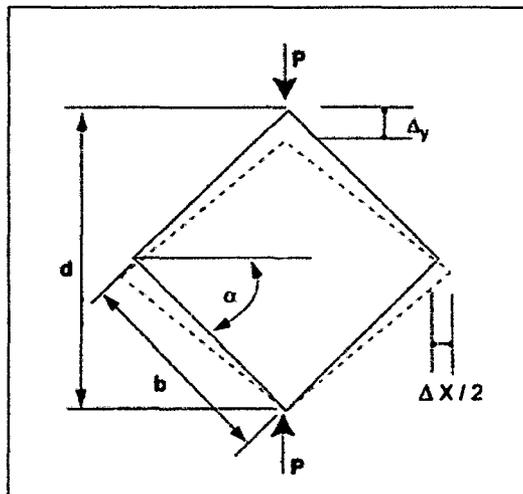


Fig. 1.26. Esquema de deformación del espécimen (murete)

(Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005).



$$\varepsilon = \frac{\Delta x + \Delta y}{2d} \left(\tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \quad (1.4)$$

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.

El análisis más completo, asumiendo un material homogéneo, ha sido efectuado por Blume, apoyándose en las investigaciones de fotoelasticidad de Frocht.

Blume estableció que los esfuerzos principales para el espécimen cargado como se muestra en al fig. 1.24, sin compresiones perpendiculares a la junta, ocurren en el centro del murete y son:



$$\text{Tracción} \quad \sigma_1 = \sigma_2 = 0.519 \frac{P}{bL} \quad (1.5)$$

$$\text{Compresión} \quad \sigma_2 = \sigma_y = 1.683 \frac{P}{bL} \quad (1.6)$$

$$\text{Corte} \quad \tau_{\text{máx}} = 1.101 \frac{P}{bL} \quad (1.7)$$

1.3.6. 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.



Donde:

Ko: Rigidez lateral Inicial

EH: Capacidad de absorción de energía inelástica

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

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

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

Se obtiene:

$$Rd = \frac{VE}{VR} = \sqrt{(2\mu-1)} \quad (1.9)$$

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.

1.4. MARCO CONCEPTUAL

Las siguientes definiciones han sido consideradas de la Norma Técnica Peruana E-070.

- **Albañilería o Mampostería.** Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido.
- **Albañilería Confinada.** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel.
- **Albañilería No Reforzada.** Albañilería sin refuerzo (Albañilería Simple) o con refuerzo que no cumple con los requisitos mínimos de esta Norma.
- **Albañilería Reforzada o Albañilería Estructural.** Albañilería armada o confinada, cuyo refuerzo cumple con las exigencias de esta Norma.
- **Construcciones de Albañilería.** Edificaciones cuya estructura está constituida predominantemente por muros portantes de albañilería.



- **Mortero.** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.
- **Unidad de Albañilería.** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar ó tubular.
- **Unidad de Albañilería Alveolar.** Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados.
- **Unidad de Albañilería Apilable.** Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero.
- **Unidad de Albañilería Hueca.** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- **Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza).** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- **Unidad de Albañilería Tubular (o Pandereta).** Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento.



CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES Y EQUIPOS

A. Materiales

- ❖ Ladrillo King Kong del Centro Poblado el Cerrillo, Baños del Inca, Cajamarca, adquirido el 12 de enero del 2013, de la fábrica "Mi Ladrillera" de propiedad del señor Segundo Simón Sánchez Taculí.
- ❖ Ladrillo King Kong de la fábrica Lark de Lambayeque, adquirido el 14 de enero del 2013, en la Empresa Distribuidora Linares S. R. L., Av. Vía de Evitamiento Sur N° 2015 – Cajamarca.
- ❖ Cemento Portland Tipo I (bolsa color verde).
- ❖ Cal Hidratada.
- ❖ Arena gruesa de la cantera "El Gavilán".
- ❖ Agua Potable.
- ❖ Arena Ottawa.
- ❖ Materiales de escritorio y gabinete.

B. Equipos.

- ❖ Mallas ASTM N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.
- ❖ 02 Probetas 3000 ml.
- ❖ 01 Balanza con capacidad de 5000 g y una aproximación de 0.1 g.
- ❖ 01 Balanza con capacidad de 200 Kg y una aproximación de 0.01 g.



- ❖ 01 Escuadra metálica graduada al 1 mm.
- ❖ 01 Regla metálica graduada al 1 mm.
- ❖ 02 Bandejas de 30*50 cm.
- ❖ 01 Nivel topográfico y trípode.
- ❖ 01 Cámara fotográfica.
- ❖ 01 Deflectómetro.
- ❖ 01 Bernier de laboratorio.
- ❖ 01 Lupa.
- ❖ 01 Horno ventilado de 110 °C a 115 °C.
- ❖ 01 Maquina Universal para ensayos de comprensión uniaxial.
- ❖ 01 Maquina universal con péndulo.
- ❖ 01 Maquina universal par ensayos con acero.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Metodología de la investigación.

a. Localización. La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz”, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

b. Periodo de la investigación. La investigación se realizó durante los meses de Noviembre 2012 – Enero 2013.



c. Variables

❖ Independientes

- Ladrillos King Kong de la fábrica "Mi Ladrillera" del Centro Poblado el Cerrillo – Baños del Inca.
- Ladrillos King Kong de la fábrica Lark de Lambayeque.

❖ Dependientes

- Propiedades físicas y mecánicas.

d. Tipo de investigación.

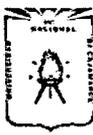
Cuasi experimental.

e. Población.

Ladrillos de arcilla cocida King Kong, que se ha producido en los meses de noviembre 2012 a enero 2013, artesanalmente en la fábrica "Mi Ladrillera" el Centro Poblado El Cerrillo, distrito de Baños del Inca – Cajamarca e industrialmente en la fábrica Lark de la ciudad de Lambayeque.

f. Muestra.

- Ladrillos King Kong de la fábrica "Mi Ladrillera" del Centro Poblado el Cerrillo – Baños del Inca: $n = 550$.
- Ladrillos King Kong de la fábrica Lark de Lambayeque: $n = 550$.



g. Diseño de la investigación.

Experimental transversal.

h. Técnica del muestreo.

Se realizó por juicio o conveniencia.

i. Instrumentos de recolección de datos.

Entrevista, ficha técnica y formato de control.

j. Análisis de datos.

- Procesamiento de datos y gráficos: Microsoft Excel 2010.
- Análisis estadístico: Minitab 15.

2.2.2. Procedimientos de la investigación.

A. Ensayo de la granulometría de la arena gruesa.

Cantera: El Gavilán.

Recolección de la muestra: se seleccionó por el método del cuarteo.

Análisis granulométrico de acuerdo a las Normas NTP 400.037.

Determinación del módulo de finura, según la Norma NTP 334.045, ASTM C-125.

Determinación de los pesos específicos y porcentajes de absorción, según la Norma NTP 400.022, ASTM C-728.

Determinación del contenido de humedad, según la Norma NTP 400.010, ASTM C-728.

Calculo del peso unitario de la arena gruesa, según la Norma NTP 400.017.

Los resultados se muestran en el Anexo 1.

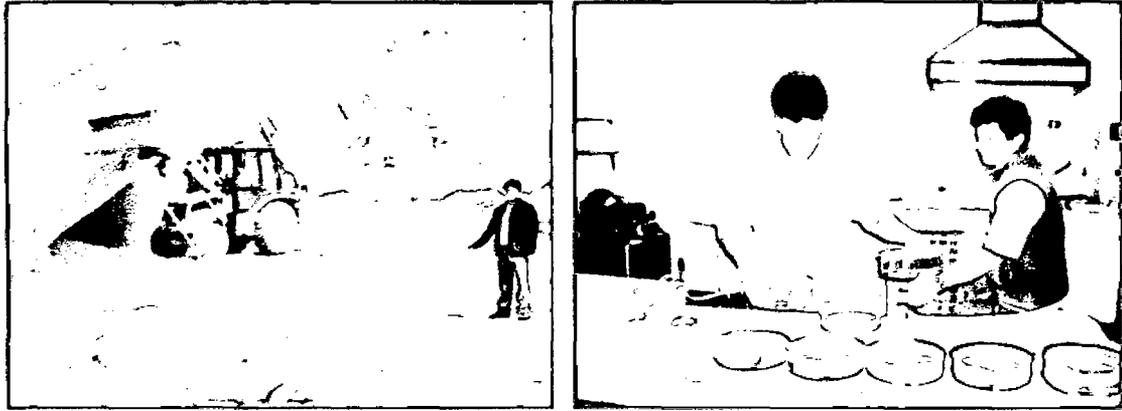


Fig. 2.1. Selección de la muestra en la cantera el Gavilán y análisis granulométrico de la arena gruesa en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

B. Ensayos clasificatorios del ladrillo

Se realizó los ensayos de los ladrillos a fin de limitar su aplicación en diseños estructurales.

De acuerdo a la NTP 399.613, se seleccionó 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.

Según la Norma Técnica E-070, menciona que el muestreo será efectuado por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades de albañilería; para la presente investigación se seleccionó por juicio o conveniencia 150 ladrillos de cada fábrica.



Se marcaron los especímenes de manera que pueda ser identificado en cualquier momento.

a. Variabilidad dimensional.

De acuerdo a la Norma NTP 399.613, el ensayo consistió en:

Se secó los ladrillos en un horno ventilado de 110 °C a 115 °C, por 24 horas (fig. 2.2).

Después del secado se dejó enfriar a una temperatura de 18 °C, por un periodo 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 (fig. 2.2).

Se midió con una regla metálica graduada al milímetro, el largo, ancho y alto, a la mitad de las aristas que limitan cada cara, realizándose 4 medidas por cada una de las dimensiones (fig. 2.3), promediándose para obtener los resultados que se muestran en las Tablas 10 y 11.

Los resultados están expresados en porcentaje, y se calcula mediante la siguiente fórmula³, con una aproximación de 0.001 mm.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

V: Variabilidad dimensional (%).

ME: Medida especificada por el fabricante (mm).

MP: Medida promedio (mm).

³ Angles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla (en línea). Ing. Civil. Lima, Perú. PUCP. 96 p. Consultado 18 feb. 2013. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/144/Angles_Paola_comparacion_comportamiento_carga_lateral_ciclica_muro_confinado_ladrillos_concreto_ladrillos_arcilla.pdf?sequence=1.



Fig. 2.2. Secado y limpieza del ladrillo artesanal e industrial.



Fig. 2.3. Medición del largo, ancho y alto de las unidades.

b. Alabeo.

Para la realización de este ensayo la Norma NTP 399.613, indica que se necesita una varilla de acero con borde recto, regla o cuña de acero graduada al 1 mm y una superficie plana de acero o vidrio de 300 mm * 300 mm.

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 (fig. 2.4).

Los resultados se muestran en la Tabla 12 y 13.

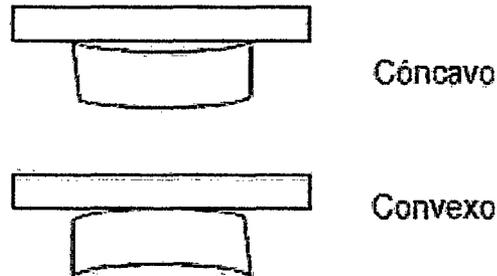


Fig. 2.4. Medición del alabeo.

c. Comprensión simple.

El ensayo se realizó con unidades secas, registrando el peso y midiendo el largo, ancho y alto (fig. 2.5), para luego ser ensayadas en la máquina universal para ensayos de compresión uniaxial (fig. 2.6).

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

$$f_b = \frac{\text{Carg aMáx.}}{\text{ÁreaBruta}} \quad (2.2)$$

$$f'_b = f_b - \sigma \quad (2.3)$$

Los valores se expresan en las Tablas 14 y 15.

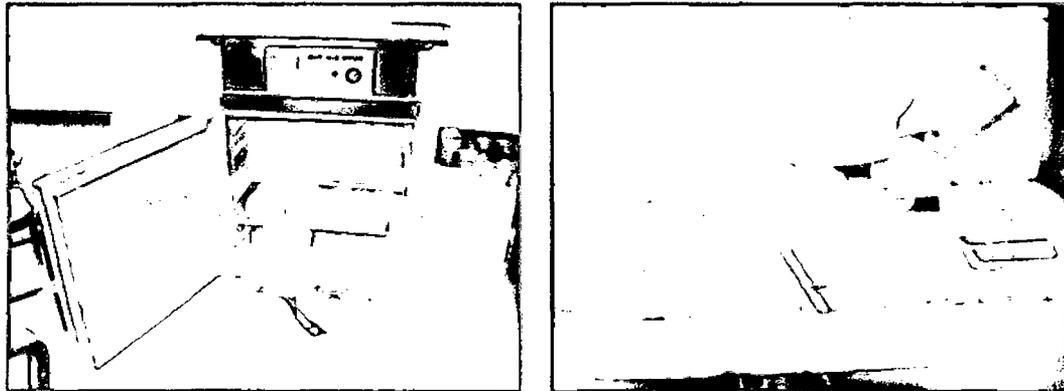


Fig. 2.5. Secado, registro de peso y medición de los lados de las unidades.

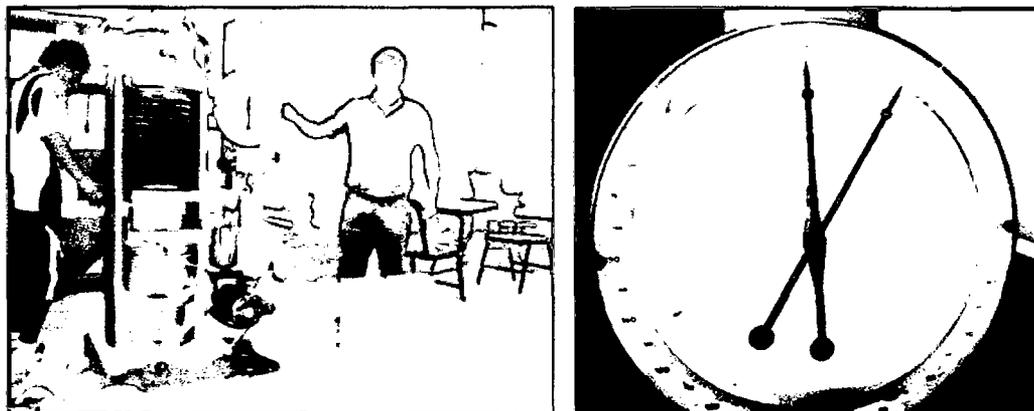


Fig. 2.6. Ensayo a compresión.

C. Ensayos no clasificatorios del ladrillo

a. Ensayo de succión.

De acuerdo a la Norma NTP 399.613, los ladrillos se secaron en el horno a una temperatura de 110° C por 24 horas y luego se pesaron (fig. 2.7). 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. (fig. 2.8)

La prueba consistió en pesar los ladrillos secos, colocarlos sobre las barras durante 1 minuto y llenar la bandeja con la finalidad de mantener el nivel de agua original. (fig. 2.8). Luego la unidad húmeda se pesó.

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.

$$S = \frac{200 * (P_{suc} - P_{sec})}{\text{Área Bruta}} \quad (2.4)$$

Donde:

S: Succión (Ver Tablas 16 y 17)

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)

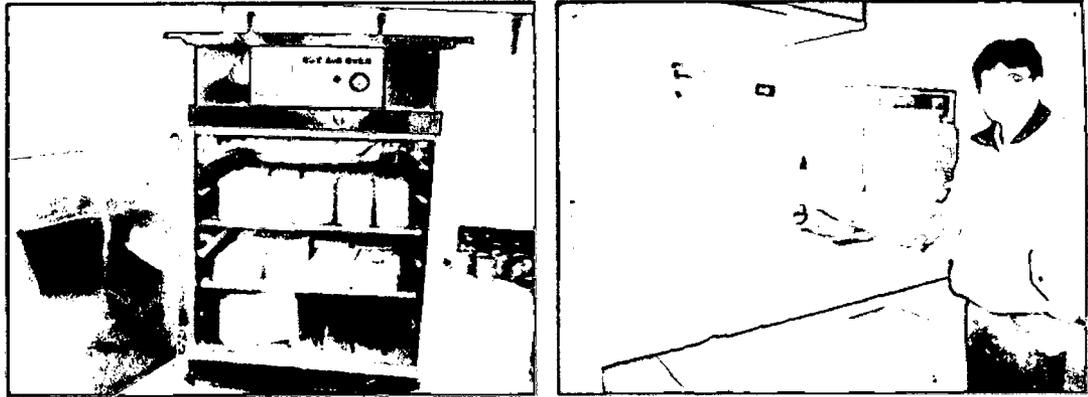


Fig. 2.7. Secado y registro del peso de los ladrillos.

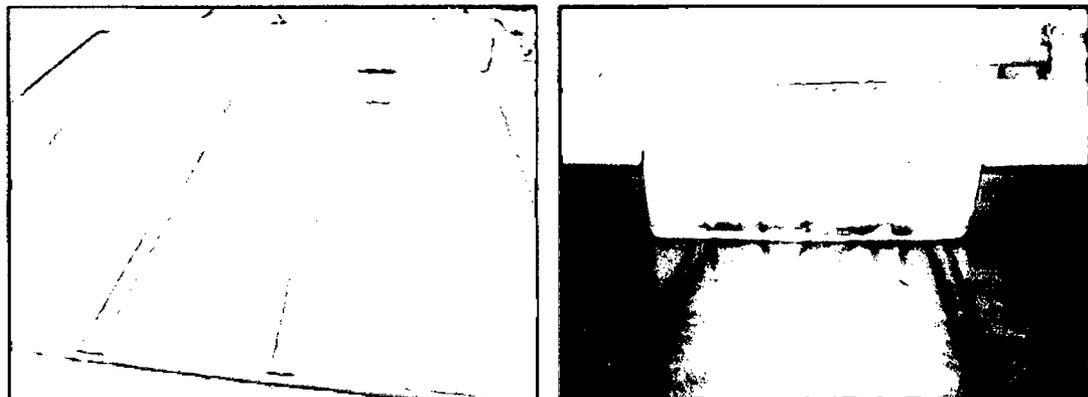


Fig. 2.8. Bandeja para ensayo y succión en ladrillos de arcilla.

b. Ensayo de absorción.

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 (fig. 2.9), registrando el peso, NTP 399.613.

Los resultados están expresados en porcentaje según la siguiente fórmula⁴:

⁴ Angles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla (en línea). Ing. Civil. Lima, Perú. PUCP. 96 p. Consultado 18 feb. 2013. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/144/Angles_Paola_comparacion_comportamiento_carga_lateral_ciclica_muro_confinado_ladrillos_concreto_ladrillos_arcilla.pdf?sequence=1.

$$A = \frac{P_s - P_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} * 100 \quad (2.5)$$

Donde:

A: Absorción (%) (Tablas 18 y 19).

Ps: Peso saturado (g)

Pseco: Peso seco (g)

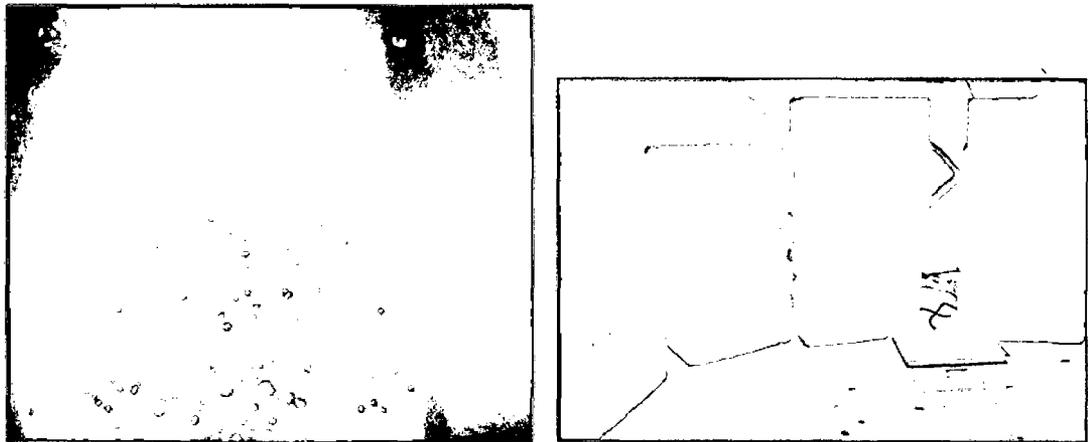


Fig. 2.9. Absorción en ladrillos de arcilla.

c. Porcentaje de área de huecos.

El procedimiento para este ensayo, la norma NTP 399.613, indica que se debe medir y registrar la longitud, el ancho y altura del ladrillo tal como se describe en el procedimiento en la variación dimensional.

Sobre la superficie horizontal, se extendió una hoja de papel y sobre el papel se colocó el ladrillo a ser ensayado.

Se rellenó los huecos con arena de Ottawa (fig. 2.10), permitiendo que la arena caiga libremente, con una varilla de acero de ½" se niveló la arena en las perforaciones y con una escobilla suave, se removió el exceso de arena de la parte superior y del papel.



Luego se levanto el ladrillo, cayendo la arena libremente sobre el papel; transfiriéndose la arena de la hoja del papel a la balanza, registrando el peso con aproximación de 0.1 g.

Con una cierta cantidad de arena, se lleno una probeta de 3000 ml hasta 500 ml, dejando que la arena caiga libremente, sin agitar ni vibrar la probeta. Se transfirió esta arena a la balanza, pesando con aproximación de 0.1 g.

Se determinó el volumen de arena contenido en el ladrillo perforado, con la siguiente formula:

$$V_s = \frac{500ml}{S_c} * S_u \quad (2.6)$$

Donde:

V_s : Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.

S_c : Peso, en g de 500 ml de arena contenido en la probeta.

S_u : Peso, en g de la arena contenido en el ladrillo perforado.

Luego se determinó el porcentaje de vacíos como sigue:

$$\% \text{Área vacíos} = \frac{V_s}{V_u} * \frac{1}{1.64} * 100 \quad (2.7)$$

Donde:

V_s : Volumen de arena contenida en el espécimen de ensayo.

V_u : Longitud x ancho x alto.

Los resultados se expresan en la Tabla 20.

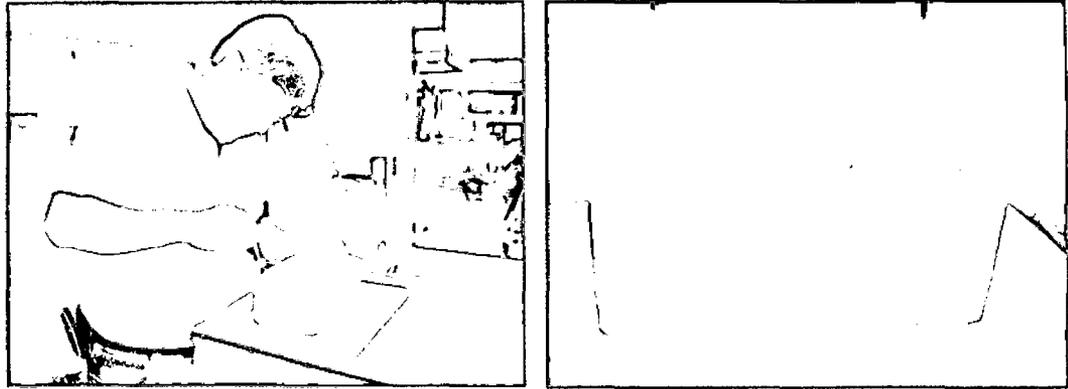


Fig. 2.10. Arena de Ottawa en los huecos.

D. Prismas de albañilería

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 elaboró especímenes pequeños (pilas y muretes) a las cuales se les aplicó cargas que son iguales a las sollicitaciones reales.

a. Pilas.

❖ Procedimiento de construcción

Se construyeron 8 pilas de 6 hiladas, 4 pilas de ladrillo fabricado artesanalmente y 4 pilas de ladrillo elaborado industrialmente, con un espesor de mortero de 12 mm, (fig. 2.11). Debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regó las unidades por media hora el mismo día antes del asentado.

El diseño del mortero se realizó analíticamente (ver Anexo 2), con las proporciones indicadas en la Norma E-070, para muros portantes.

Mortero tipo P1 = 1:1/4:4 (cemento: cal: arena).

Al momento de la construcción se controló 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 25 días de edad.

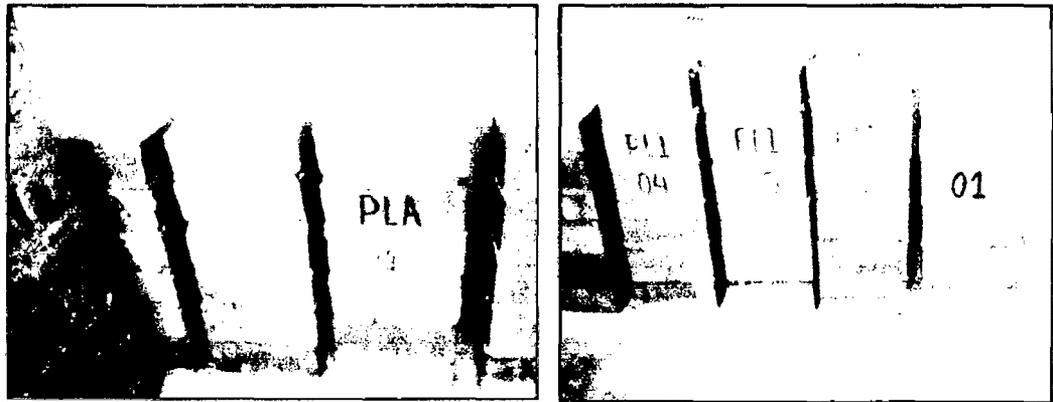


Fig. 2.11. Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).

❖ Montaje e instrumentación

Se registro el peso de las pilas, con una balanza electrónica de 3000 g, con aproximación 0.01 g, luego se midió la altura (H) y el espesor efectivo (t).

Se colocó manualmente en la maquina universal para ensayos con acero, aplicándose la carga, leyéndose en el dial de carga cada 250 Kg, y con la ayuda de un deflectómetro se registro las deformaciones, para obtener las gráficas P vs Δ (fig. 2.12).

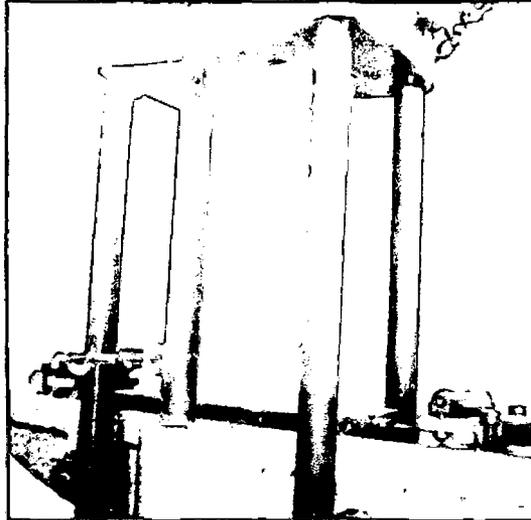


Fig. 2.12. Montaje e instrumentación para el ensayo de Pilas de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).

❖ Cálculo de la Resistencia a Compresión Axial.

Se registró la carga máxima y la resistencia a compresión axial, se calculó de la siguiente manera:

$$f_m = \frac{P_{\text{máx.}}}{\text{Área}} \quad (2.8)$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión axial (Kg/cm²)

$P_{\text{máx}}$: Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

Área: Área bruta transversal a la fuerza (cm²)

Luego se corrigió f_m según el factor de corrección por esbeltez de la pila, expresados en la Tabla 7.

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 21 y 22.

$$f'_m = f_m - \sigma \quad (2.9)$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión (Kg/cm²)

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

σ : Desviación estándar

A continuación se muestra la falla típica de las pilas de ladrillo de arcilla.

Las pilas de ladrillo fabricado artesanalmente presentaron grietas verticales en las caras frontales principalmente (fig. 2.13).

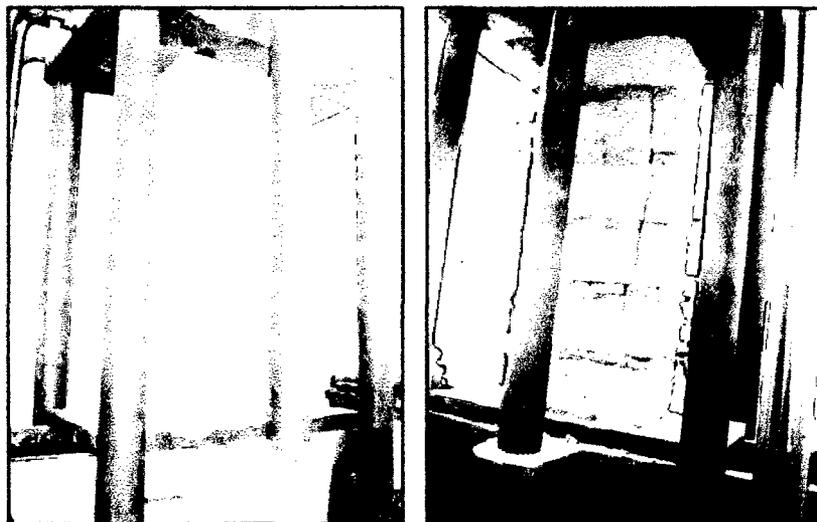


Fig. 2.13. Falla típica de las pilas de ladrillo del C. P. El Cerrillo.

Las pilas de ladrillo fabricado industrialmente tuvieron una falla frágil y trituración en los bordes (fig. 2.14).



Fig. 2.14. Falla típica de las pilas de ladrillo Lark.

❖ **Cálculo del Módulo de Elasticidad.**

Para calcular el módulo de elasticidad se asume de la gráfica esfuerzo - desplazamiento, un tramo que representase el comportamiento elástico y se dividió el incremento del esfuerzo axial entre la deformación unitaria respectiva.

Del gráfico esfuerzo deformación unitaria, de varios experimentos realizados por Turnsek & Cacoviv y por Powell & Hodkinson, en comprensión explica el proceso para el cálculo del módulo de elasticidad, el que se puede representar con bastante aproximación por la parábola:

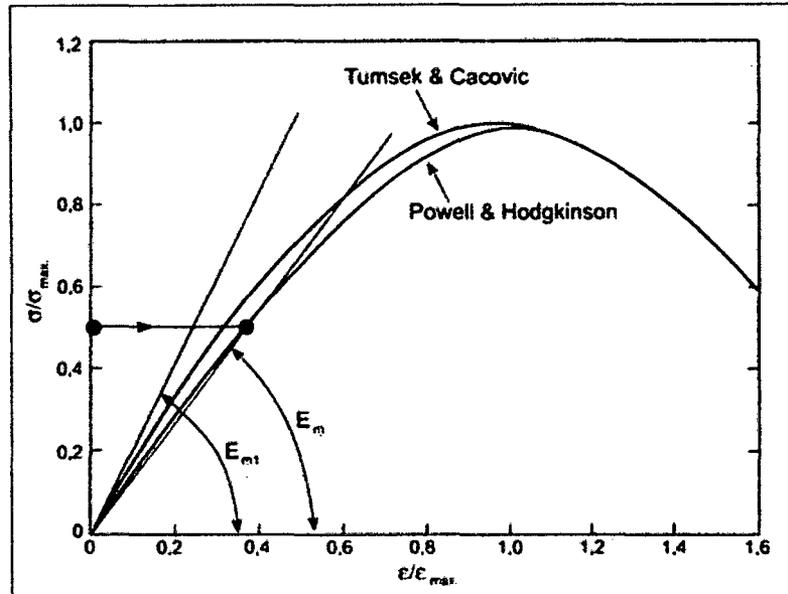


Fig. 2.15. Diagrama normalizado esfuerzo Vs deformación unitaria para el ensayo de compresión de prismas de albañilería.

$$\frac{\sigma}{\sigma'} = 2\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}\right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}\right)^2 \quad (2.10)$$

Donde:

σ' : Esfuerzo en el punto máximo de la curva

ε' : Deformación unitaria en el punto máximo de la curva.

El cálculo del módulo tangente en el inicio (E_{mt}) está dado por la ecuación:

$$E_{mt} = 2\left(\frac{\sigma'}{\varepsilon'}\right) \quad (2.11)$$

Según, Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. El modulo de elasticidad de la albañilería se hace, al 50 % del valor de la resistencia última, por el comportamiento no lineal de la materia.



$$\sigma' = \frac{P}{\text{Área Bruta}} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon' = \frac{D}{H} \quad (2.13)$$

$$E_m = 1.25 \left(\frac{\sigma'}{\varepsilon'} \right) \quad (2.14)$$

Donde:

σ' : Esfuerzo axial en el tramo elástico (ton/m²).

P: Fuerza en el tramo que representa el comportamiento elástico (ton).

Área Bruta = Largo x Ancho (m²).

ε' : Deformación unitaria asociado a σ' .

D: Deformación en el rango elástico (mm).

H: Altura del prisma (mm).

E_m : Módulo de elasticidad.

Los resultados se expresan en la Tabla 23 y 24.

b. Muretes.

❖ Procedimiento de construcción

Se construyeron 4 especímenes de 1.00 * 1.00 m, 2 muretes de ladrillo fabricado artesanalmente y 2 muretes de ladrillo elaborado industrialmente, con un espesor de mortero de 12 mm y 15 mm, debido a la alta succión de los ladrillos de arcilla, se regó las unidades por media hora el mismo día antes del asentado (fig. 2.16).

El diseño del mortero se realizó analíticamente (ver Anexo 2), con las proporciones indicadas en la Norma E-070, para muros portantes.

Mortero tipo P1 = 1:1/4:4 (cemento: cal: arena).

Al momento de la construcción se controló la verticalidad con un nivel y plomada.

Se realizó el curado según lo indicado en la Norma E-070, (fig. 2.17).

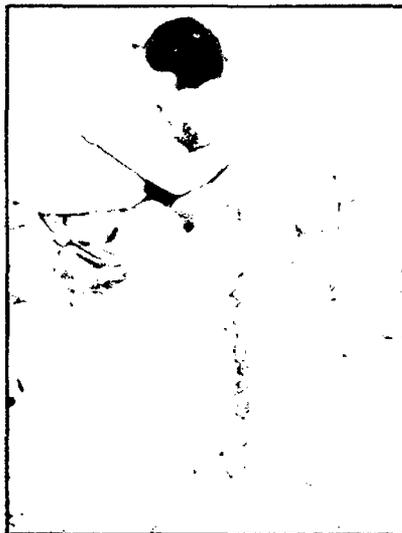


Fig. 2.16. Construcción de muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).

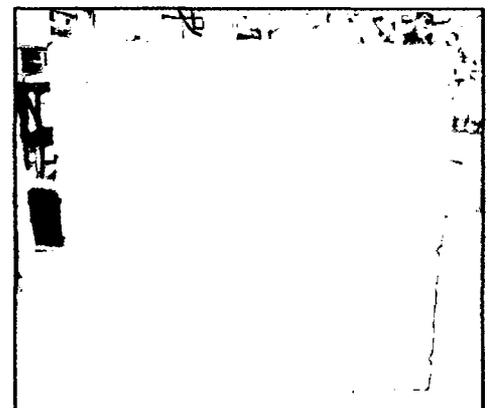
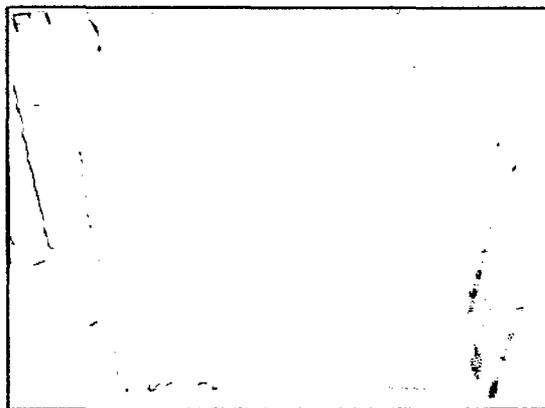


Fig. 2.17. Muretes de ladrillo de arcilla (artesanal e industrial).

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 de compresión se efectuó cuando los especímenes cumplieron los 25 días de edad.

Luego de construir los muretes se colocó 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 (fig. 2.18).

Los muretes se ensayaron cuando cumplieron 25 días de edad.



Fig. 2.18. Muretes de ladrillo de arcilla con capa de yeso en las esquinas.

❖ **Peso volumétrico de la albañilería.**

El registro del peso de cada murete se realizó mediante una balanza con capacidad de 200 Kg, con una aproximación de 0.01 g; los resultados se expresan en la Tabla 25.

❖ **Instrumentación y montaje.**

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

Luego se colocó el murete con los ángulos de acero en los extremos, debidamente plomado con el péndulo de la maquina universal (fig. 2.19). Se empezó aplicar la carga a una velocidad de 25 Ton/min y con la ayuda de un nivel topográfico más papel milimetrado pegado en el muro, se registro las deformaciones.



Fig. 2.19. Muretes, listos para ser ensayados en la maquina universal de péndulo.

❖ **Calculo de la resistencia al corte**

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

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{A_d} \quad (2.15)$$

Donde:

v_m : Resistencia al corte (Kg/cm²)

P máx.: Máxima Fuerza que resiste en murete (Kg)

Ad: 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).

$$v'_m = v_m - s \quad (2.16)$$

Donde:

v_m : Resistencia al corte (Kg/cm^2).

v_m : Resistencia característica al corte (Kg/cm^2).

s : Desviación estándar.

Los resultados se expresan en las Tablas 26 y 27.

A continuación se muestra la falla típica de los muretes de cada tipo de ladrillo.

Los muretes de ladrillo fabricado artesanalmente en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca, 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 (fig. 2.20).



Fig. 2.20. Falla típica de los muretes de ladrillo del C. P. El Cerrillo.

Los muretes de ladrillo elaborado industrialmente por la fabrica Lark en Lambayeque, tuvieron una falla frágil, inclinada, escalonada y se trituró el ladrillo en los puntos de apoyo de los ángulos (fig. 2.21).



Fig. 2.21. Falla típica de los muretes de ladrillo Lark.

E. Diseño analítico del mortero.

El diseño del mortero se realizó analíticamente, con los datos obtenidos de la granulometría de la arena gruesa de la cantera el Gavilán, cemento portland tipo I (bolsa verde), cal hidratada y agua.

De acuerdo a la Norma E-070, se diseñó para muros portantes por lo que, el mortero es el tipo P1, en proporciones de 1:1/4:4 (cemento: cal: arena).

Los cálculos y resultados están expresados en el Anexo 2.



Fig. 2.22. Especímenes y ensayo del mortero.

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción de las unidades de albañilería ensayadas

Las especificaciones técnicas obtenidas de los ensayos se aprecian en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8. Especificaciones técnicas obtenidas de los ensayos del ladrillo del C. P. EL Cerrillo - Baños del Inca

Características	Valor
Tipo	King Kong sólido
% huecos	0
Dimensiones	21.3 x 12.3 x 7.4 cm
Peso	2.98 Kg
Resistencia característica a la Compresión	69 Kg/cm ²

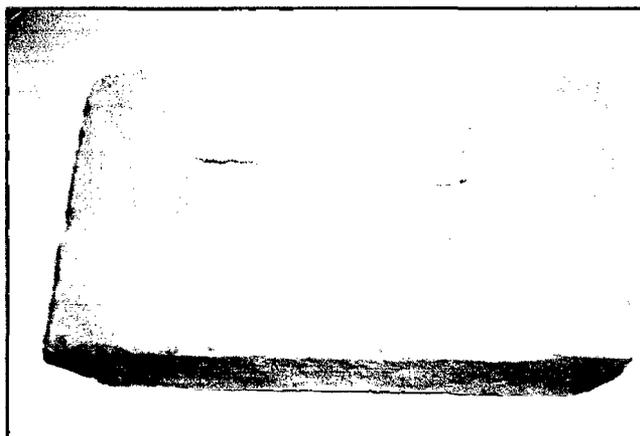


Fig. 3.1. Ladrillo de arcilla fabricado artesanalmente por "Mi Ladrillera" en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca.

Tabla 9. Especificaciones técnicas obtenidas de los ensayos del ladrillo Lark de Lambayeque

Características	Valor
Tipo	King Kong de 18 huecos
% huecos	28.67
Dimensiones	23.1 x 12.2 x 9.0 cm
Peso	2.68 Kg
Resistencia característica a la Compresión	85 Kg/cm ²

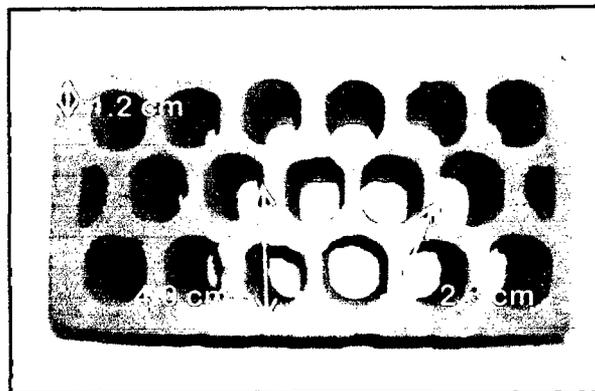


Fig. 3.2. Ladrillo de arcilla elaborado industrialmente por la fabrica "Lark" en Lambayeque.

De los resultados, el ladrillo fabricado artesanalmente en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca, no cumple con las dimensiones que el fabricante menciona al momento de la venta (21*12*8 cm), pero alcanza una resistencia característica a la compresión de clasificación $f_b = 69 \text{ Kg/cm}^2$, clasificándose como un ladrillo clase II.

El ladrillo elaborado industrialmente en la fábrica Lark de Lambayeque, no alcanza la resistencia característica a la compresión de clasificación $f_b = 85 \text{ Kg/cm}^2$, para un ladrillo clase IV, como se puede observar en su portal web de publicidad <http://www.ladrilloslark.com.pe/productos.html>, de los ensayos obtenidos se clasifica también como un ladrillo clase II, cumpliendo con el alabeo y variación dimensional.



3.1. Ensayos clasificatorios del ladrillo

a. Variación dimensional.

Tabla 10. Ensayo de variación dimensional del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Especimen	Largo (mm)				Ancho (mm)				Altura (mm)						
	L1	L2	L3	L4	L0	A1	A2	A3	A4	A0	H1	H2	H3	H4	H0
LA-01	215	214	210	212	212.75	123	120	125	123	122.75	72	72	72	73	72.25
LA-02	215	213	210	212	212.50	119	122	125	126	123.00	71	72	73	72	72.00
LA-03	213	210	213	212	212.00	122	122	126	126	124.00	75	75	75	76	75.25
LA-04	212	212	213	215	213.00	123	123	122	124	123.00	76	76	74	74	75.00
LA-05	216	214	212	213	213.75	123	122	122	123	122.50	74	74	74	75	74.25
LA-06	215	216	212	214	214.25	122	126	122	122	123.00	73	73	73	72	72.75
LA-07	213	210	212	212	211.75	123	122	122	121	122.00	75	75	75	76	75.25
LA-08	214	211	211	211	211.75	125	122	120	123	122.50	73	73	73	74	73.25
LA-09	212	211	211	210	211.00	122	122	123	124	122.75	72	74	74	74	73.50
LA-10	215	212	212	212	212.75	122	123	125	124	123.50	71	72	72	73	72.00
				L	210.00				L	120.00				L	80.00
				σ	0.98				σ	0.56				σ	1.32
				\bar{L}	212.55				\bar{L}	122.90				\bar{L}	73.55
				%	-1.20				%	-2.36				%	8.77

LA: Ladrillo fabricado Artesanalmente

Tabla 11. Ensayo de variación dimensional del ladrillo Lark – Lambayeque.

Espécimen	Largo (mm)				Ancho (mm)				Altura (mm)						
	L1	L2	L3	L4	L0	A1	A2	A3	A4	A0	H1	H2	H3	H4	H0
LI-01	233	229	231	231	231.00	124	123	122	124	123.25	89	91	91	90	90.25
LI-02	232	231	232	228	230.75	124	122	125	123	123.50	90	91	89	91	90.25
LI-03	232	230	231	230	230.75	122	120	123	123	122.00	91	91	90	92	91.00
LI-04	230	229	231	228	229.50	122	122	121	121	121.50	90	91	89	90	90.00
LI-05	231	230	231	231	230.75	122	121	122	119	121.00	91	91	91	92	91.25
LI-06	232	230	231	231	231.00	121	123	124	124	123.00	86	85	90	91	88.00
LI-07	230	230	231	228	229.75	122	122	122	122	122.00	91	92	90	91	91.00
LI-08	231	229	231	228	229.75	121	121	120	121	120.75	90	91	90	90	90.25
LI-09	234	233	231	231	232.25	121	122	120	123	121.50	91	92	91	92	91.50
LI-10	233	232	234	232	232.75	123	122	123	121	122.25	89	91	92	93	91.25
				L	230.00				L	125.00				L	90.00
				σ	1.05				σ	0.94				σ	1.02
				\bar{L}	230.83				\bar{L}	122.08				\bar{L}	90.48
				%	-0.36				%	2.40				%	-0.53

LI: Ladrillo fabricado Industrialmente

De la Tabla 10, se puede deducir que el ladrillo producido artesanalmente en el C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, tiene una variación dimensional de 3.81%, respecto a las medidas indicadas (21*12*8 cm) por el fabricante al momento de la compra.

Los resultados de la Tabla 11, expresan que el ladrillo elaborado industrialmente por la fabrica Lark en Lambayeque, presenta una variación dimensional de 0.94%, respecto a las medidas indicadas (23*12.5*9), al momento de la compra y en la web de la ladrillera.

Por lo que, según la Norma E-070 los dos ladrillos tienen un porcentaje menor al máximo indicado para un ladrillo clase II, siendo el ladrillo Lark el más uniforme en su dimensiones.

El coeficiente de variación es:

$$cv \% = (3.81 - 0.94) / 3.81 = 75.33\%$$



b. Alabeo.

Tabla 12. Ensayo de alabeo del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Especímen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
LA-01	0.0	1.0	0.0	3.0
LA-02	1.0	0.0	1.0	2.0
LA-03	3.0	0.0	0.0	2.0
LA-04	1.0	0.0	0.0	2.0
LA-05	2.0	0.0	0.5	1.5
LA-06	0.0	2.0	2.0	2.0
LA-07	0.0	1.0	0.0	1.0
LA-08	2.0	0.0	0.0	0.0
LA-09	0.0	1.5	0.5	0.0
LA-10	2.0	0.0	0.0	3.0
Promedio	Cóncavo		0.75	
	Convexo		1.10	

LA = Ladrillo fabricado Artesanalmente

Tabla 13. Ensayo de alabeo del ladrillo Lark – Lambayeque.

Especímen	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
LI-01	1.0	0.0	0.0	1.0
LI-02	1.0	0.0	0.0	0.0
LI-03	2.0	0.0	1.0	0.0
LI-04	0.0	1.0	1.0	0.0
LI-05	0.0	0.0	2.0	0.0
LI-06	0.0	1.0	1.0	0.0
LI-07	1.0	0.0	1.0	0.0
LI-08	0.0	0.0	0.0	0.0
LI-09	1.0	0.0	1.5	0.0
LI-10	1.0	0.0	2.0	0.0
Promedio	Cóncavo		0.83	
	Convexo		0.15	

LI = Ladrillo fabricado Industrialmente

De los resultados de este ensayo, tanto el ladrillo fabricado artesanalmente y industrialmente, cumplen lo señalado en la Norma E-070, para un ladrillo clase II. Siendo más cóncavo el ladrillo Lark en 0.08 mm y el ladrillo de C. P. El Cerrillo más convexo en 0.95 mm.



a. Compresión simple.

Tabla 14. Ensayo de compresión simple del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Espécimen	Largo (mm)		Ancho (mm)		Altura (mm)		Peso Seco		Carga Max	Area B	fb
	L1	L2	A1	A2	E1	E2	(gr)		kN	m ²	MPa
LA-01	213	210	121	125	73	70	2896.2	2896.2	209.93	0.026	8.07
LA-02	211	210	223	125	75	72	2979.8	2979.7	230.54	0.037	6.29
LA-03	213	210	123	125	74	74	2985.4	2985.4	215.82	0.026	8.23
LA-04	216	212	121	125	74	75	3045.2	3045.2	181.49	0.026	6.89
LA-05	212	214	120	124	74	76	2913.9	2913.9	191.30	0.026	7.36
LA-06	214	213	125	125	74	73	3010.1	3010.1	210.92	0.027	7.90
LA-07	214	212	122	125	75	74	3020.1	3020.0	196.20	0.026	7.46
LA-08	213	211	122	124	72	72	2867.2	2867.1	196.20	0.026	7.52
LA-09	214	211	121	121	74	73	2857.5	2857.6	181.49	0.026	7.06
LA-10	214	212	122	126	72	74	3015.0	3015.1	181.49	0.026	6.87
										fb	7.37
										S	0.60
										fb	6.76

LA = Ladrillo fabricado Artesanalmente



Tabla 15. Ensayo de compresión simple del ladrillo Lark – Lambayeque.

Espécimen	Largo (mm)		Ancho (mm)		Altura (mm)		Peso Seco		Carga Max	Área B	fb
	L1	L2	A1	A2	E1	E2	(gr)		KN	m ²	MPa
LI-01	232	232	123	123	88	88	2755.2	2755.2	176.58	0.021	8.28
LI-02	231	232	123	123	91	89	2718.9	2718.9	191.30	0.021	8.99
LI-03	232	231	122	122	90	89	2659.6	2659.6	176.58	0.021	8.39
LI-04	231	232	125	124	91	91	2754.9	2754.8	206.01	0.022	9.53
LI-05	233	234	121	121	91	90	2687.9	2687.9	190.31	0.021	9.04
LI-06	230	231	120	123	90	91	2641.4	2641.4	181.49	0.021	8.72
LI-07	231	231	122	122	90	90	2715.5	2715.6	186.39	0.021	8.88
LI-08	234	234	123	122	88	89	2658.5	2658.4	186.39	0.021	8.68
LI-09	232	231	120	122	88	89	2698.7	2698.7	225.63	0.021	10.84
LI-10	231	232	122	121	90	91	2655.4	2655.4	201.11	0.021	9.61
LI = Ladrillo fabricado Industrialmente										fb	9.10
										S	0.75
										fb	8.35

De la Tabla 14, se puede observar que el ladrillo producido artesanalmente en el C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, tiene una resistencia a la compresión simple de 6.76 Mpa (69 Kg/cm²) y el ladrillo elaborado industrialmente por la fabrica Lark en Lambayeque (Tabla 15) tiene una resistencia a la compresión simple de 8.35 Mpa (85 Kg/cm²); clasificando dichos valores como un ladrillo clase II, según la Norma E-070.

De los valores anteriores el ladrillo Lark tiene mayor resistencia a la compresión simple en 10.52%.



3.3. Ensayos no clasificatorios del ladrillo

a. Ensayo de succión.

Tabla 16. Ensayo de succión del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Especimen	Dimensión de la Unidad					
	Psec gr	Psuc gr	A mm	L mm	Área cm ²	S
LA-01	2902.6	2962.1	122.75	212.75	261.15	45.57
LA-02	2887.0	2961.6	123.00	212.50	261.38	57.08
LA-03	3052.7	3134.9	124.00	212.00	262.88	62.54
LA-04	2957.0	3098.9	123.00	213.00	261.99	108.32
LA-05	3024.7	3154.0	122.50	213.75	261.84	98.76
LA-06	2945.9	3085.5	123.00	214.25	263.53	105.95
LA-07	3050.3	3130.4	122.00	211.75	258.34	62.01
LA-08	2960.9	3044.2	122.50	211.75	259.39	64.23
LA-09	3009.3	3077.1	122.75	211.00	259.00	52.35
LA-10	3089.2	3146.2	123.50	212.75	262.75	43.39
					— S	70.02

LA = Ladrillo fabricado Artesanalmente.

Tabla 17. Ensayo de succión del ladrillo Lark – Lambayeque.

Especimen	Dimensión de la Unidad					
	Psec gr	Psuc gr	A mm	L mm	Área Cm ²	S
LI-01	2687.5	2733.5	123.25	231.00	284.71	32.31
LI-02	2688.8	2735.2	123.50	230.75	284.98	32.56
LI-03	2690.9	2745.6	122.00	230.75	281.52	38.86
LI-04	2719.9	2784.9	121.50	229.50	278.84	46.62
LI-05	2674.7	2730.2	121.00	230.75	279.21	39.76
LI-06	2628.1	2677.5	123.00	231.00	284.13	34.77
LI-07	2703.9	2745.8	122.00	229.75	280.30	29.90
LI-08	2712.0	2764.1	120.75	229.75	277.42	37.56
LI-09	2658.8	2701.9	121.50	232.25	282.18	30.55
LI-10	2674.2	2710.1	122.25	232.75	284.54	25.23
					— S	34.81

LI = Ladrillo fabricado Industrialmente.



La Norma E-070 especifica que la succión de los ladrillos de arcilla debe estar comprendida entre los 10 y 20 gr/200 cm² –min. Cuando excede este valor es necesario regar a los ladrillos de arcilla durante 30 minutos, entre 10 a 15 horas antes de ser asentadas.

De las Tablas 16 y 17, se observa que los valores del ladrillo elaborado en el C. P. El Cerrillo y por la fabrica Lark, tiene valores que sobrepasan lo señalado por la Norma E-070, por lo que debe regarse 30 minutos, un día antes de ser asentados. Así mismo, se puede indicar que el ladrillo fabricado artesanalmente tiene más capacidad de succión en 35.21 gr/200 cm² –min, con un coeficiente de variación (cv) de 50.10%.

b. Ensayo de absorción.

Tabla 18. Ensayo de absorción del ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Espécimen	Peso seco 1	Peso seco 2	Peso seco 3	Peso saturado	Absorción
	gr	gr	gr	gr	
LA-01	2902.6	2891.9	2881.2	3374.4	16.7
LA-02	2887.0	2879.2	2871.4	3391.5	17.8
LA-03	3052.7	3043.3	3033.9	3542.5	16.4
LA-04	2957.0	2953.7	2950.4	3479.6	17.8
LA-05	3024.7	3020.0	3015.3	3559.3	17.9
LA-06	2945.9	2942.8	2939.7	3465.7	17.8
LA-07	3050.3	3046.3	3042.3	3542.4	16.3
LA-08	2960.9	2952.4	2943.8	3471.1	17.6
LA-09	3009.3	3000.9	2992.4	3507.6	16.9
LA-10	3089.2	3080.6	3071.9	3596.8	16.8

\bar{f}

17.2

LA = Ladrillo fabricado Artesanalmente.

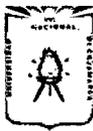


Tabla 19. Ensayo de absorción del ladrillo Lark – Lambayeque.

Especímen	Peso seco 1	Peso seco 2	Peso seco 3	Peso saturado	Absorción
	gr	gr	gr	gr	
LI-01	2687.5	2687.6	2687.6	2982.9	11.0
LI-02	2688.8	2688.6	2688.4	2988.8	11.2
LI-03	2690.9	2690.8	2690.7	2970.4	10.4
LI-04	2719.9	2719.8	2719.7	2990.4	9.9
LI-05	2674.7	2674.6	2674.4	2951.7	10.4
LI-06	2628.1	2627.9	2627.7	2907.9	10.7
LI-07	2703.9	2703.2	2702.5	2998.8	10.9
LI-08	2712.0	2712.0	2712.0	2981.7	9.9
LI-09	2658.8	2658.5	2658.2	2943.9	10.7
LI-10	2674.2	2671.5	2668.7	2960.9	10.8

LI = Ladrillo fabricado Industrialmente.

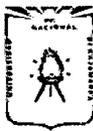
10.6

La Norma E-070, señala que la absorción para ladrillos de arcilla, no debe ser mayor de 22%. De las Tablas 18 y 19, se observa que la absorción en los ladrillos ensayados es:

Ladrillo de Arcilla del C. P. El Cerrillo = 17.2 % < 22%

Ladrillo de Arcilla Lark = 10.6 % < 22%

Por lo tanto, lo dos ladrillos cumplen con la Norma E-070 de albañilería y el ladrillo elaborado artesanalmente en el C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, tiene mayor capacidad de absorción en 6.6%, teniendo un coeficiente de variación de 38.37%.



c. Porcentaje de área de huecos.

Tabla 20. Ensayo del porcentaje de área de huecos del ladrillo Lark – Lambayeque.

Espécimen	Vol. arena cm ³	V unidad cm ³	% Área de Vacíos
LI-01	1180.67	2569.49	28.02
LI-02	1195.91	2571.91	28.35
LI-03	1197.95	2561.79	28.51
LI-04	1149.82	2509.58	27.94
LI-05	1212.96	2547.77	29.03
LI-06	1185.73	2500.34	28.92
LI-07	1175.09	2550.68	28.09
LI-08	1158.80	2503.74	28.22
LI-09	1260.79	2581.98	29.77
LI-10	1268.86	2596.40	29.80
		% huecos	28.67

LI = Ladrillo fabricado Industrialmente.

Se debe tener en cuenta que las perforaciones pueden favorecer la cocción interna de los ladrillos de arcilla pero en exceso pueden ocasionar una falla frágil cuando la unidad esta bajo esfuerzos de compresión. Por tal razón la Norma E-070, recomienda emplear ladrillos con un máximo de 30% de perforaciones en la cara de asentado.

De la Tabla 20, el ladrillo fabricado industrialmente por la fabrica Lark de Lambayeque tiene un 28.67% de perforaciones del área de la cara de asentado, facilitando que el mortero penetre y cree llaves de corte.

El ladrillo fabricado artesanalmente en el C. P. El Cerrillo, es totalmente sólido.

Por lo que, los dos tipos de ladrillo cumplen con la Norma E-070, como unidades sólidas para ser usadas en zonas sísmicas 2 y 3, en la construcción de muros portantes de edificaciones de 1 a 3 pisos.



3.4. Prismas de albañilería

a. Pilas.

❖ Ensayo a la Resistencia a Compresión Axial

Tabla 21. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Especímen	Dimensiones			Esbeltéz (H/t)	P máx. Ton	Área cm ²	fm Kg/cm ²	Factor Corrección	fm Kg/cm ² Corregido
	L (mm)	t (mm)	H (mm)						
PLA-01	216	124	516	4.161	9.35	267.84	34.91	0.960	33.51
PLA-02	213	128	518	4.047	11.00	272.64	40.35	0.953	38.45
PLA-03	215	125	510	4.080	6.95	268.75	25.86	0.955	24.70
PLA-04	216	125	520	4.160	10.50	270.00	38.89	0.960	37.33
							fm:	33.50	Kg/cm ²
							σ:	6.24	Kg/cm ²
							fm:	27.26	Kg/cm ²

PLA = Pilas de ladrillo fabricado Artesanalmente.

Tabla 22. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.

Especímen	Dimensiones			Esbeltéz (H/t)	P máx. Ton	Área cm ²	fm Kg/cm ²	Factor Corrección	fm Kg/cm ² Corregido
	L (mm)	t (mm)	H (mm)						
PLI-01	234	125	613	4.904	13.95	292.50	47.69	0.996	47.50
PLI-02	235	124	607	4.895	10.50	291.40	36.03	0.996	35.89
PLI-03	233	125	618	4.944	8.30	291.25	28.50	0.998	28.44
PLI-04	233	125	610	4.880	12.86	291.25	44.15	0.995	43.93
							fm:	38.94	Kg/cm ²
							σ:	8.52	Kg/cm ²
							fm:	30.42	Kg/cm ²

PLI = Pilas de ladrillo fabricado Industrialmente.

La resistencia promedio de las pilas es mayor la del ladrillo Lark de Lambayeque respecto a las pilas elaboradas con ladrillo del C. P. El Cerrillo – Baños del Inca en $\Delta f_m = 3.16 \text{ Kg/cm}^2$, con un coeficiente de variación de 10.39%, el cual nos muestra que el ladrillo Lark tiene mayor variación entre



una pilas y otra. A la vez en el Anexo 3, se muestra las graficas de ensayos esfuerzo (σ) vs deformación unitaria (ϵ), la que nos permite determinar el módulo de elasticidad y el comportamiento ante la carga.

❖ **Cálculo del módulo de elasticidad.**

Tabla 23. Cálculo del módulo de elasticidad del ensayo de pilas de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

Especímen	Dimensiones		Área m ²	P Ton	s' Ton/m ²	e'	Em
	L (mm)	t (mm)					
PLA-01	216	124	0.03	4.72	176.08	0.0052	3.39E+04
PLA-02	213	128	0.03	5.67	208.08	0.0470	4.43E+03
PLA-03	215	125	0.03	3.69	137.15	0.0061	2.25E+04
PLA-04	216	125	0.03	5.96	220.81	0.0056	3.94E+04
					Em	2.51E+04	Ton/m ²
					Desviación	1.55E+04	Ton/m ²

PLA = Pilas de ladrillo fabricado Artesanalmente.

Tabla 24. Cálculo del módulo de elasticidad del ensayo de pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.

Especímen	Dimensiones		Área m ²	P Ton	s' Ton/m ²	e'	Em
	L (mm)	t (mm)					
PLI-01	234	125	0.03	7.76	265.30	0.0035	7.58E+04
PLI-02	235	124	0.03	5.18	177.63	0.0021	8.46E+04
PLI-03	233	125	0.03	4.53	155.57	0.0041	3.79E+04
PLI-04	233	125	0.03	6.56	225.13	0.0019	1.18E+05
					Em	7.92E+04	Ton/m ²
					Desviación	3.31E+04	Ton/m ²

PLI = Pilas de ladrillo fabricado Industrialmente.

Respecto al módulo de elasticidad, las pilas de albañilería del ladrillo elaborado industrialmente por la fábrica Lark de Lambayeque, tiene mayor capacidad de elasticidad que las pilas elaboradas con ladrillo fabricado artesanalmente en el C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, $\Delta E_m = 5.42E+04$, con un coeficiente de variación de 68.37%. El cual tendía un mejor comportamiento para las cargas sísmicas.



b. Muretes.

❖ Cálculo del peso volumétrico de los muretes.

Tabla 25. Peso volumétrico de muretes de ladrillo

Ladrillo de Arcilla	Espécimen	Peso (Kg)	Volumen (m ³)	Peso Volumétrico (Ton/m ³)	Promedio (Tn/m ³)
Artesanal	MLA-01	221.59	0.114	1.94	1.87
	MLA-02	209.48	0.117	1.79	
Industrial	MLI-01	162.49	0.113	1.44	1.39
	MLI-02	155.17	0.116	1.34	

MLA = Muro de Ladrillo fabricado Artesanalmente
MLI = Muro de Ladrillo fabricado Industrialmente

Los resultados indican que el murete de ladrillo Lark de Lambayeque, tiene menor peso volumétrico respecto al ladrillo del C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, por las perforaciones que tiene el ladrillo y el mortero no llega a copar todos los vacíos.

❖ Ensayo de Resistencia al Corte de los muretes.

Tabla 26. Ensayo a la resistencia de corte en muretes de ladrillo del C. P. EL Cerrillo – Baños del Inca.

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)			
MLA-01	1004	950	120	1386	1007	953	12,620	1,663.20	7.59
MLA-02	1001	970	120	1398	1004	973	12,780	1,677.60	7.62
							vm prom:	7.60	Kg/cm ²
							s:	0.02	Kg/cm ²
							v'm:	7.58	Kg/cm ²

MLA = Muro de Ladrillo fabricado Artesanalmente



Tabla 27. Ensayo a la resistencia de compresión axial en pilas de ladrillo Lark – Lambayeque.

Especímen	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)			
MLI-01	984	922	125	1353	987	925	12,000	1,691.25	7.10
MLI-02	984	942	125	1366	987	945	12,500	1,707.50	7.32
								vm Prom:	7.21 Kg/cm ²
								s:	0.16 Kg/cm ²
								v'm:	7.05 Kg/cm ²

MLI = Muro de Ladrillo fabricado Industrialmente

La resistencia promedio v'_m al corte de los muretes del ladrillo del C. P. El Cerrillo – Baños del Inca, es mayor respecto a la resistencia promedio v'_m al corte de los muretes del ladrillo Lark de Lambayeque, $\Delta v'_m = 0.53$ Kg/cm², con un coeficiente de variación de 7.39%, esto debido a que el ladrillo totalmente sólido aporta al esfuerzo cortante durante el ensayo cuando la grieta recorre el ladrillo por su mayor área de corte, existiendo una diferencia mínima entre los muretes con espesor de junta de 12 mm y 15 mm, posiblemente debido al mortero mixto con el que se adhirió los ladrillos.

En el Anexo 4, se muestra las graficas de ensayos esfuerzo (σ) vs deformación unitaria (ϵ), la que nos permite conocer el comportamiento ante la carga de los muretes.

❖ **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.

$$E_m = 500 f'_m$$

En la Tabla 28, observamos que la relación E_m/f'_m experimental es ligeramente menor y mayor a lo señalado en la Norma E-070.

Tabla 28. Relación del módulo de elasticidad vs. f'_m y G_m

Unidades del Albañilería	f'_m	E_m	E_m/f'_m	Diferencia con teórico NTP E-070 %	G_m
	ensayo Kg/cm ²	ensayo Ton/m ²			
King Kong Artesanal	27.26	2.51E+04	919	- 26.65	1.00E+04
King Kong Industrial	30.42	7.92E+04	2,604	21.17	3.17E+04

Artesanal = fabricadas en el C. P. El Cerrillo.
Industrial = fabrica Lark – Lambayeque.

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 f'_m ó $\sqrt{f'_m}$.

Podemos observar en la Tabla 29, que los ladrillos no sobrepasaron el valor máximo, por lo que el v_m de diseño será los resultados de $\sqrt{f'_m}$.

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

Tabla 29. Análisis de resistencia al corte

Unidades de Albañilería	V_m	f'_m	v_m máx	v_m
	ensayo Kg/cm ²	ensayo Kg/cm ²	$\sqrt{f'_m}$ Kg/cm ²	diseño Kg/cm ²
King Kong Artesanal	7.60	27.36	5.23	5.23
King Kong Industrial	7.21	30.42	5.52	5.52

Artesanal = fabricadas en el C. P. El Cerrillo.
Industrial = fabrica Lark – Lambayeque.



Los esfuerzos v_m obtenidos en laboratorio es mayor al 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 actuante $\leq v_m$ diseño, con el propósito de evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes.

3.5. Ensayo a compresión axial de las probetas de mortero $f'_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$

Los resultados de los ensayos de las probetas del mortero se observan en el Anexo N° 2, el cual indica que se ha tenido una resistencia mayor a 140 Kg/cm^2 , cumpliendo con el diseño, el cual ha contribuido aumentar la resistencia axial en las pilas y la resistencia al corte en los muretes.



CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong del Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca, son: a) Variabilidad dimensional: Largo = -1.20%, ancho = 2.36%, alto = 8.77%, b) Alabeo: Convexo 0.75 mm, cóncavo 1.10 mm, c) Compresión simple $f_b = 6.76$ Mpa (69 Kg/cm²), d) Succión 70.02 gr/200cm²-min, e) Absorción 17.2% y f) Porcentaje de área de vacíos 0%. La propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Kong Lark de Lambayeque, son: a) Variabilidad dimensional: Largo = -0.36%, ancho = 2.40%, alto = -0.53%, b) Alabeo: Convexo 0.83 mm, cóncavo 0.15 mm, c) Compresión simple $f_b = 8.35$ Mpa (85 Kg/cm²), d) Succión 34.81 gr/200cm²-min, e) Absorción 10.6% y e) Porcentaje de área de vacíos 28.67%.
2. Según los resultados de los ensayos clasificatorios (variabilidad dimensional, alabeo y compresión simple), el ladrillo King Kong del Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca y Lark de Lambayeque, se clasifican como ladrillo clase II para fines estructurales de acuerdo a la Norma E- 070.
3. La resistencia característica a la compresión axial de las pilas de ladrillo King Kong del Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca $f_m = 27.26$ Kg/cm²



es menor respecto a la resistencia de las pilas de ladrillo King Kong Lark de Lambayeque $f_m = 30.42 \text{ Kg/cm}^2$.

4. La resistencia al corte en muretes contruidos con ladrillo King Kong del C. P. El Cerrillo – Baños del Inca $v'_m = 7.58 \text{ Kg/cm}^2$ es mayor al valor obtenido para muretes de ladrillo King Kong Lark de Lambayeque $v'_m = 7.05 \text{ Kg/cm}^2$. Sin embargo, la resistencia tuvo que limitarse a $\sqrt{f_m}$ para fines de diseño, con lo cual v'_m se redujo en 31.18% y 27.46%, respectivamente.
5. El módulo de elasticidad $E_m = 2.51\text{E}+04 \text{ Ton/m}^2$, módulo de corte $G_m = 1.00\text{E}+04 \text{ Ton/m}^2$ de pilas de ladrillo King Kong del C. P. El Cerrillo – Baños del Inca es menor al módulo de elasticidad $E_m = 7.92\text{E}+04 \text{ Ton/m}^2$, módulo de corte $G_m = 3.17\text{E}+04 \text{ Ton/m}^2$ de pilas ladrillo King Kong Lark de Lambayeque, por lo que este último tendría un mejor comportamiento en edificaciones de 1 a 3 niveles, ante los sismos moderados que son más frecuentes en el Perú.
6. Los muretes de ladrillo King Kong fabricado artesanalmente en el Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca, 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; mientras que, los muretes de ladrillo King Kong elaborado industrialmente por la fabrica Lark en Lambayeque, tuvieron una falla frágil, inclinada, escalonada y se trituró el ladrillo en los puntos de apoyo de los ángulos. Este comportamiento de los muretes de los dos tipos de ladrillo ha seguido la actuación de una estructura no confinada ante solicitaciones sísmicas, es decir en tracción diagonal.



B. RECOMENDACIONES

1. Después de analizado cada una de las propiedades físicas y mecánicas, y el comportamiento ante los ensayos, me permito recomendar que el uso del ladrillo King Kong del Centro Poblado El Cerrillo – Baños del Inca y Lark de Lambayeque, debe limitarse a edificaciones de uno a tres niveles.
2. Se debe realizar otras investigaciones y ensayos con otros ladrillos fabricados artesanalmente en los Centros Poblados de Santa Barbará, Huacataz, Otuzco y el Cerrillo del distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, con la finalidad de elaborar una base de datos de las ladrilleras de la zona y patentar sus características.
3. Propiciar la mejora de la calidad del ladrillo fabricado artesanalmente hasta llegar a la industrialización.
4. Crear la línea de investigación en albañilería en la Facultad de Ingeniería, con el propósito de propiciar mejoras en la elaboración de la unidad de albañilería, adhesión unidad - mortero, proceso constructivo y otros.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Albañilería Estructural. Tercera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP. 444 p. (Serie Ingeniería Civil).
2. San Bartolomé, A. 1994. Construcciones de Albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural. Primera Ed. Lima, Perú. Fondo Edit. PUCP. 246 p. (Serie Ingeniería Civil).
3. Afanador, N; Guerrero, G; Monroy, R. 2012. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Bogotá, UMNG. 15 p.
4. E. Sánchez. 1982. Estudio de la variabilidad en la calidad de los ladrillos producidos en la ciudad de Lima. PUCP.
5. 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.
6. Mosqueira, J. y Díaz, M. 1984. Ensayos de albañilería utilizando ladrillos de arcilla cocida. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC. 194 p.
7. Pastorutti, A. y San Bartolomé, A. 1985. Ensayo de carga lateral en muros de albañilería confinados – efectos del refuerzo. Lima, PUCP.
8. San Bartolomé, A. 1980. Comportamiento de elementos de albañilería en ensayos de compresión diagonal y corte directo. Lima, PUCP.



9. Quiun, D; San Bartolomé, A; Mendoza, G. 2005. Corrección por esbeltez en pilas de albañilería ensayadas a compresión axial. Lima, PUCP.
10. San Bartolomé, A. 2007. Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de albañilería en el sismo de pisco del 15-08-2007", Lima, PUCP.
11. San Bartolomé, A; Angles, P. 2008. Comparación del comportamiento sísmico de muros confinados construidos con ladrillos de concreto y de arcilla. Lima, PUCP.
12. 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.
13. Angles, D. 2008. Comparación del comportamiento a carga lateral cíclica de un muro confinado con ladrillos de concreto y otro con ladrillos de arcilla (en línea). Ing. Civil. Lima, Perú. PUCP. 96 p. Consultado 18 feb. 2013. en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/144/Angles_P_aola_comparacion_comportamiento_carga_lateral_ciclica_muro_confinado_la_drillos_concreto_ladrillos_arcilla.pdf?sequence=1.
14. Bianucci, MA. El Ladrillo. Orígenes y Desarrollo (en línea). Chaco, Argentina. Consultado 9 feb. 2013. Disponible en <http://arquitectologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>.



ANEXOS

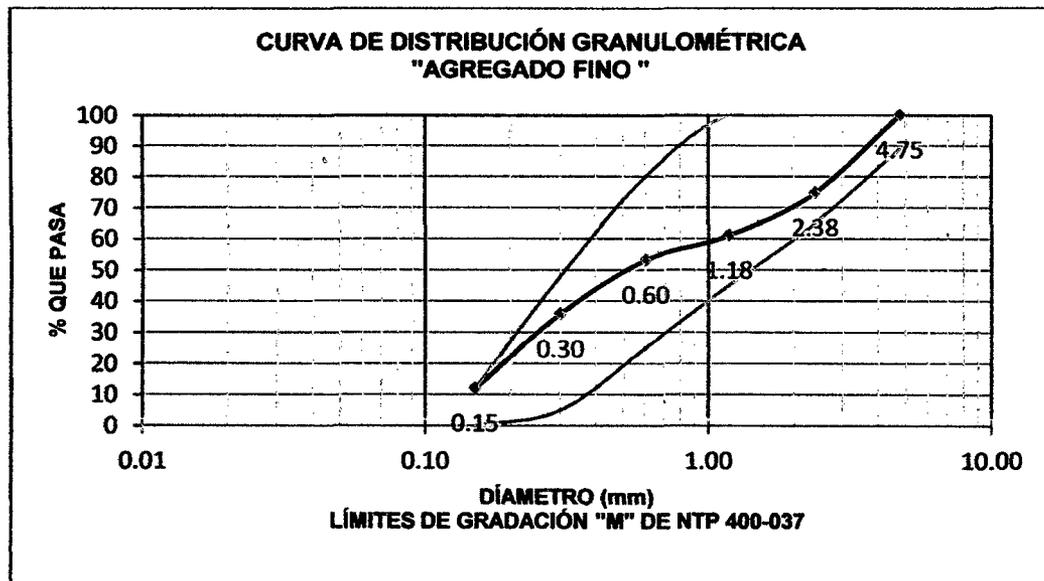
Anexo N° 1. Análisis granulométrico del agregado fino (arena gruesa)

Cantera: El Gavilán

Ensayo N° 1.

Peso de la muestra secada al horno = 430.00 g

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.38	108.20	25.16	25.16	74.84
16	1.18	59.00	13.72	38.88	61.12
30	0.60	33.90	7.88	46.77	53.23
50	0.30	74.40	17.30	64.07	35.93
100	0.15	102.50	23.84	87.91	12.09
200	0.07	47.70	11.09	99.00	1.00
Cazoleta		4.30	1.00	100.00	0.00



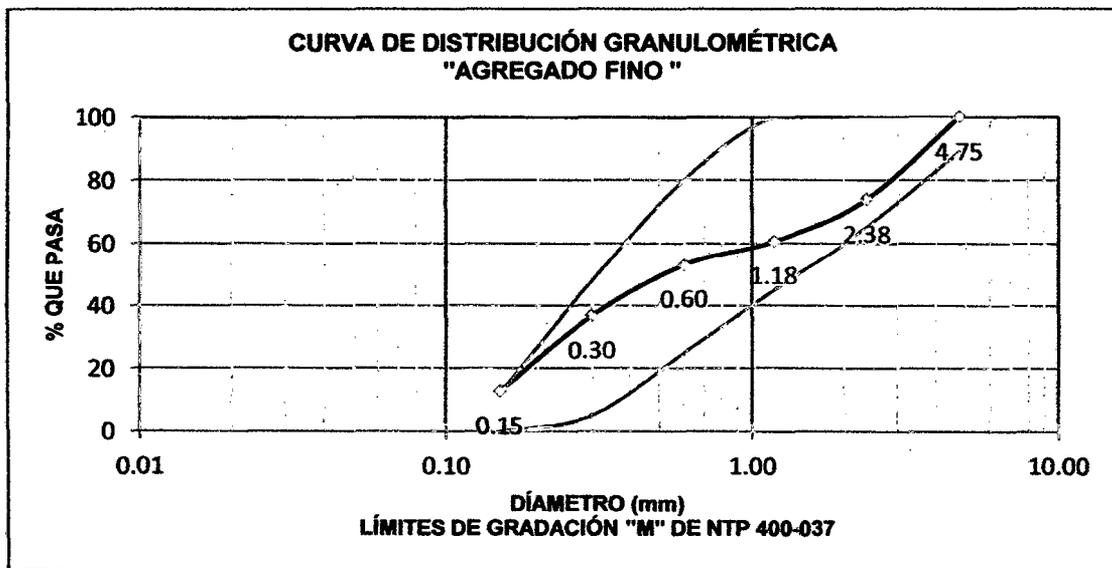


D10 = 0.071 Cu = 14.183
 D30 = 0.224 Cc = 0.702
 D60 = 1.007

Ensayo N° 2.

Peso de la Muestra secada al horno = 430.00 g

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.38	112.10	26.07	26.07	73.93
16	1.18	56.50	13.14	39.21	60.79
30	0.60	32.40	7.53	46.74	53.26
50	0.30	70.20	16.33	63.07	36.93
100	0.15	103.80	24.14	87.21	12.79
200	0.07	51.10	11.88	99.09	0.91
Cazoleta		3.90	0.91	100.00	0.00



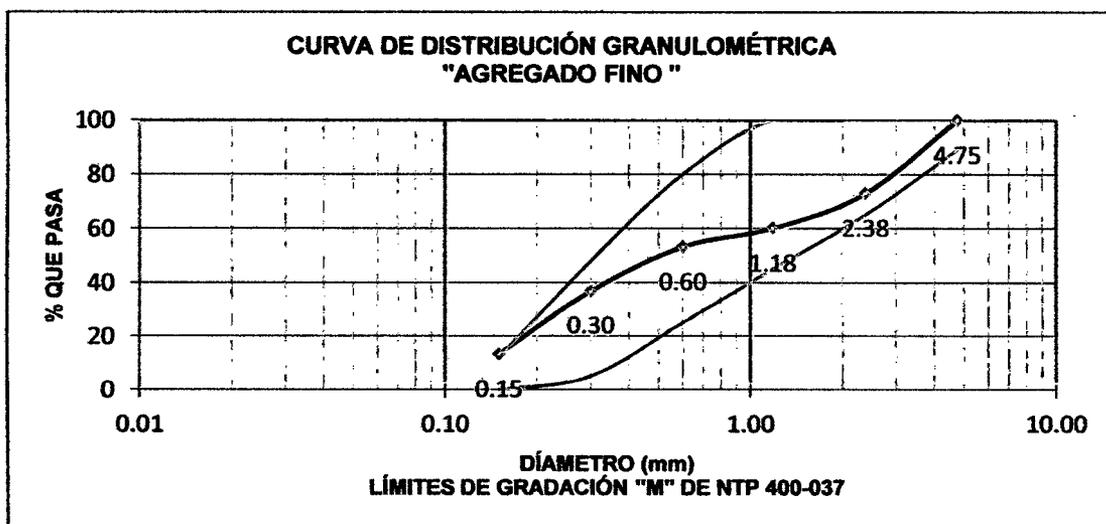
D10 = 0.072 Cu = 14.250
 D30 = 0.219 Cc = 0.649
 D60 = 1.026



Ensayo N° 3.

Peso de la Muestra secada al horno = 430.00 g

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.38	116.10	27.00	27.00	73.00
16	1.18	55.10	12.81	39.81	60.19
30	0.60	29.60	6.88	46.70	53.30
50	0.30	70.20	16.33	63.02	36.98
100	0.15	102.10	23.74	86.77	13.23
200	0.07	50.20	11.67	98.44	1.56
Cazoleta		6.70	1.56	100.00	0.00



D10 = 0.074

Cu = 15.365

D30 = 0.223

Cc = 0.591

D60 = 1.137



2. Módulo de finura

Ensayo 01	2.63
Ensayo 02	2.62
Ensayo 03	2.63
Promedio	2.63

3. Peso específico y absorción

Ws: Peso de la Muestra seca

Ws1	489.1 gr
Ws2	489.2 gr
Ws3	488.9 gr

A: Peso de la Fiola + Muestra saturada

A1	1308.9 gr
A2	1052.2 gr
A3	1308.9 gr

B: Peso de fiola + Agua + Muestra

B1	1615.2 gr
B2	1360.7 gr
B3	1616.3 gr

S: Peso de la muestra saturada Con superficie seca

S1	500 gr
S2	500 gr
S3	500 gr

Va: Volumen de Agua Añadida= B-A

Va1	306.3 cm ³
Va2	308.5 cm ³
Va3	307.4 cm ³

A) Peso específico de masa

Pe.m 1	2.53 gr/cm ³
Pe.m 2	2.55 gr/cm ³
Pe.m 3	2.54 gr/cm ³
Pe.m	2.54 gr/cm³

B) Peso específico de masa saturada superficialmente seca

Pe S.S.S 1	2.58 gr/cm ³
Pe S.S.S 2	2.61 gr/cm ³
Pe S.S.S 3	2.60 gr/cm ³
Pem S.S.S	2.60 gr/cm³



C) Peso específico nominal o aparente

Pe.a 1	2.68 gr/cm ³
Pe.a 2	2.71 gr/cm ³
Pe.a 3	2.69 gr/cm ³
Pe.a	2.69 gr/cm³

D) Absorción

Abs 1	2.23 %
Abs 2	2.21 %
Abs 3	2.27 %
Abs	2.24 %

4. Contenido de Humedad

A1 =	1000gr
A2 =	1000gr
A3 =	1000gr
B1 =	855.5gr
B2 =	860.9gr
B3 =	852.8gr

W1	16.89
W2	16.16
W3	17.26
Promedio	16.77

5. Peso Unitario

A) Peso unitario seco Suelto

V. Agua en el molde	5699.70 cm ³
P Agua en el molde	5.6997 Kg
Factor (F)	175.448

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	17.51	17.62	17.59
Peso del Material (Kg)	9.30	9.41	9.38
Factor (F)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1632	1651	1646
Peso Unitario Suelto Promedio	1643 Kg/m³		



B) Peso unitario seco Compactado

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	18.38	18.34	18.39
Peso del Material (Kg)	10.17	10.13	10.18
Factor (F)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1784	1777	1786
Peso Unitario Compactado Promedio		1783 Kg/m³	



Anexo N° 2. Diseño analítico de mortero mixto y resultados de ensayo a compresión axial de probetas.

A. Diseño analítico de mortero de albañilería $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$

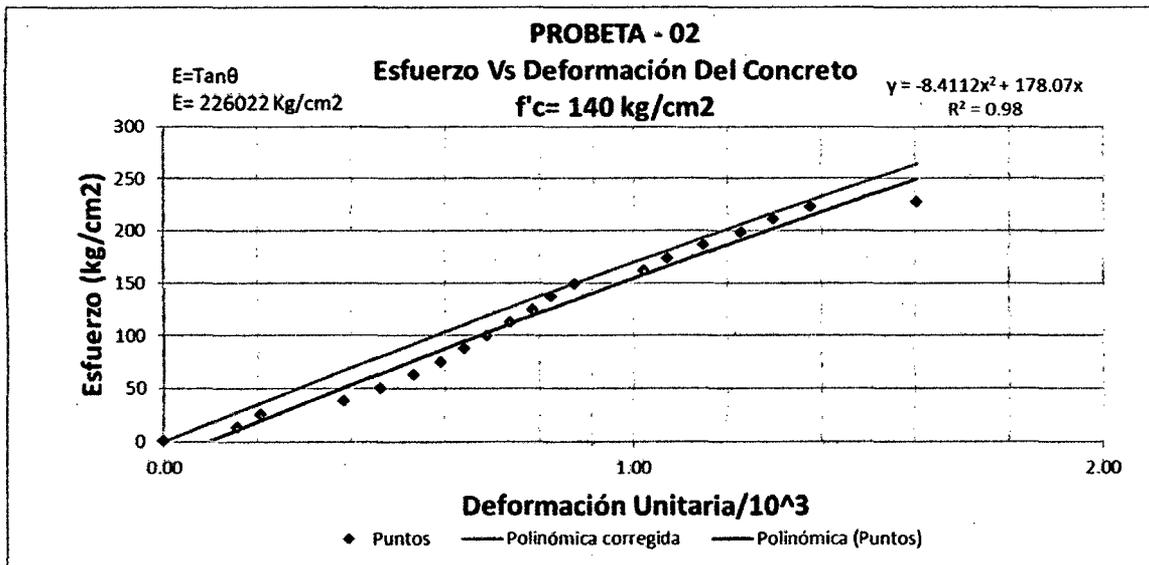
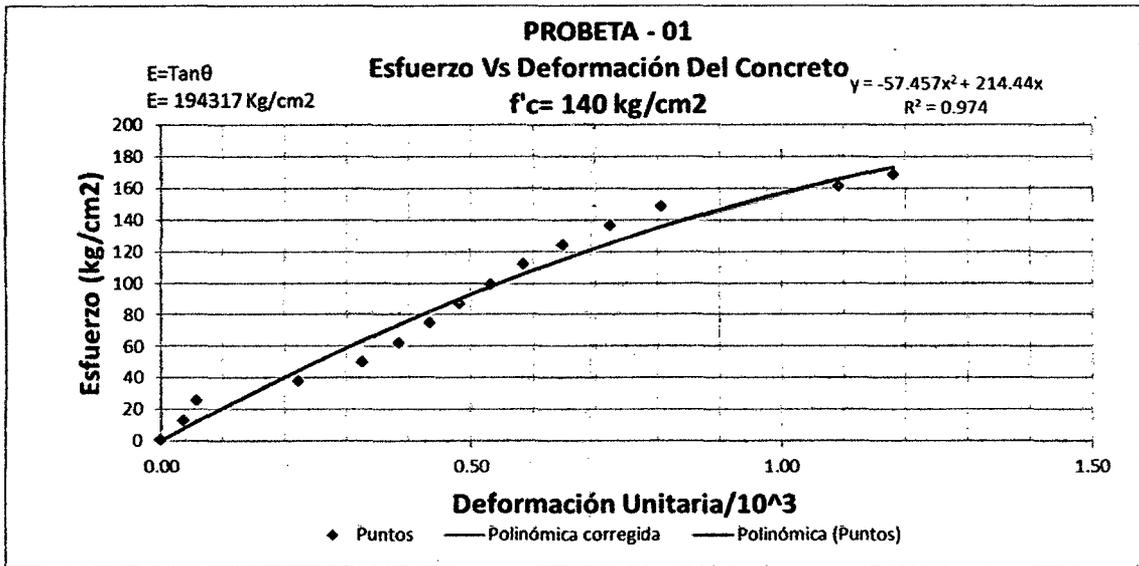
CEMENTO	TIPO	I ASTM C 150	PESO ESPECIFICO	3.11	gr/cm3
AGREGADO GLOBAL :			Fc	140	Kg/cm2
			Fc	168	Kg/cm2
P. ESPECIFICO DE MASA		2.54	gr/cm3		
PESO UNITARIO SUELTO		1643	Kg/m3		
PESO UNITARIO COMPACTADO		1783	Kg/m3		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		16.77			
ABSORCION (%)		2.24			
MODULO DE FINURA GLOBAL		2.63			
ABRASION (%)		-			
PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200		1.16			
ASENTAMIENTO		4" - 8"			
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO		327.726	Lt/m3	0.561643836	
AIRE ATRAPADO (%)		1.0			
RELACION A/Mc		1.02			
CEMENTO		321.00	Kg/m3	7.55	Bolsas/m3
METODO VOLUMENES ABSOLUTOS					
CAL			PESO UNITARIO DE CAL	620	Kg/m3
CEMENTO	0.103215434	m3			
AGUA DE MEZCLADO	0.327726	m3			33.14
AIRE (%)	0.01	m3			
SUMA	0.44094	m3			
VOLUMEN DE AGREGADOS :		0.55906			
AGREGADO GLOBAL SECO	1420.01	Kg/m3	APORTE AG	206.33	
			TOTAL	206.33	
MATERIALES DE DISEÑO			MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO	321.00	Kg	CEMENTO	321.00	Kg
AGUA DE DISEÑO	327.73	Lt	AGUA EFECTIVA	121.40	Lt
AGREGADO GLOBAL SECO	1420.01	Kg	AGREGADO GLOBAL HUMEDX	1658.14	Kg
AIRE ATRAPADO	1.00	%	AIRE ATRAPADO	1.00	%
CAL	33.14		CAL	33.14	
PROPORCION EN PESO			PROPORCION EN VOLUMEN		
1	CEMENTO		1	CEMENTO	
5.17	A.FINO		4	A.FINO	
16.1	AGUA (Lt / Bolsa)		16.1	AGUA (Lt / Bolsa)	



B. Resultados de ensayo a compresión axial de probetas de mortero.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Resistencia característica (Kg/cm ²)	140
Área de la probeta (cm ²)	20.26
Altura (cm)	10.16

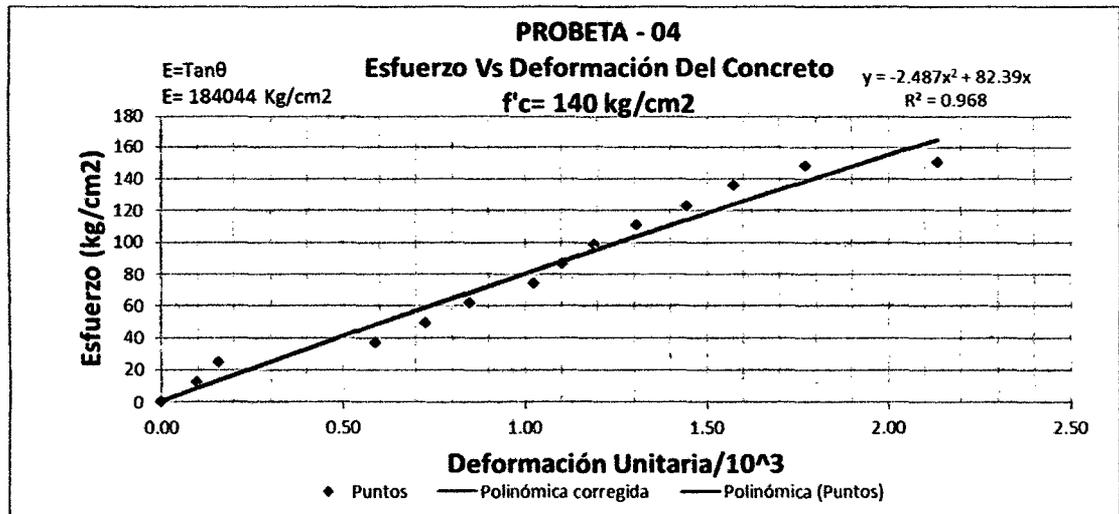
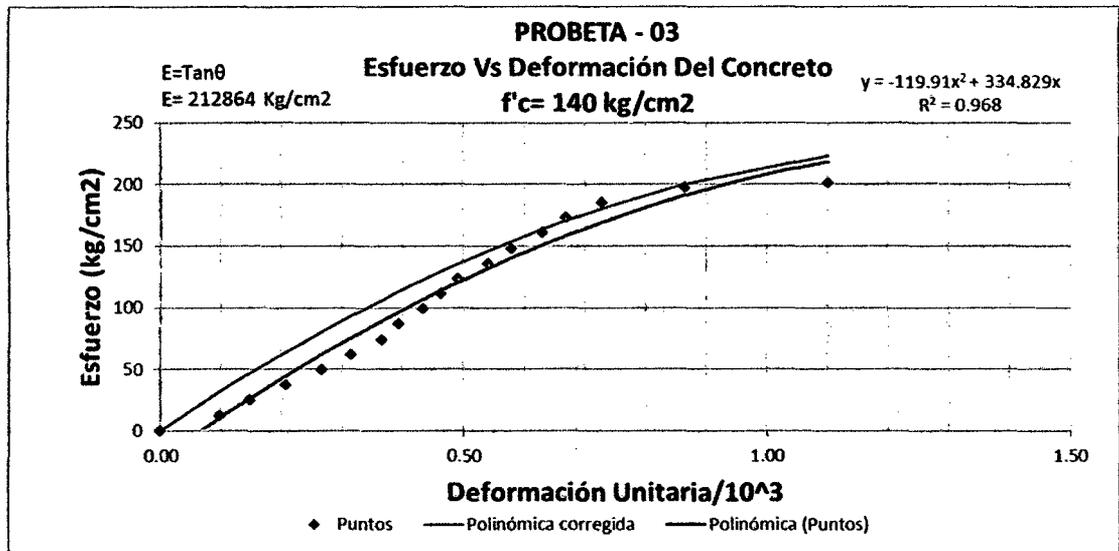
PROBETA - 01					PROBETA - 02				
Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.	Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
250	0.04	0.0369	12.3396	7.837	250	0.16	0.1575	12.3396	27.834
500	0.06	0.0571	24.6792	12.054	500	0.21	0.2067	24.6792	36.446
750	0.23	0.2215	37.0188	44.671	750	0.39	0.3839	37.0188	67.114
1000	0.33	0.3248	49.3583	63.589	1000	0.47	0.4626	49.3583	80.575
1250	0.39	0.3839	61.6979	73.848	1250	0.54	0.5315	61.6979	92.267
1500	0.44	0.4331	74.0375	82.092	1500	0.60	0.5906	74.0375	102.226
1750	0.49	0.4823	86.3771	90.057	1750	0.65	0.6398	86.3771	110.480
2000	0.54	0.5315	98.7167	97.743	2000	0.70	0.6890	98.7167	118.693
2250	0.60	0.5856	111.0563	105.877	2250	0.75	0.7382	111.0563	126.866
2500	0.66	0.6496	123.3959	115.055	2500	0.80	0.7874	123.3959	134.998
2750	0.74	0.7234	135.7354	125.062	2750	0.84	0.8268	135.7354	141.474
3000	0.82	0.8071	148.0750	135.645	3000	0.89	0.8760	148.0750	149.532
3250	1.11	1.0925	160.4146	165.699	3250	1.04	1.0236	160.4146	173.463
3400	1.20	1.1811	167.82	173.12	3500	1.09	1.0728	172.7542	181.359
Ecuación			Esf.=	$-57.457x^2+214.44x$	Ecuación			Esf.=	$-8.41x^2+178.07x$
Coef. de correlación			R ² =	0.974	Coef. de correlación			R ² =	0.980
Def. Unitaria (mm)				1.18	Def. Unitaria (mm)				1.60
Esf. De rotura (Kg/cm ²)				167.82	Esf. De rotura (Kg/cm ²)				227.05
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)				194317	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)				226022





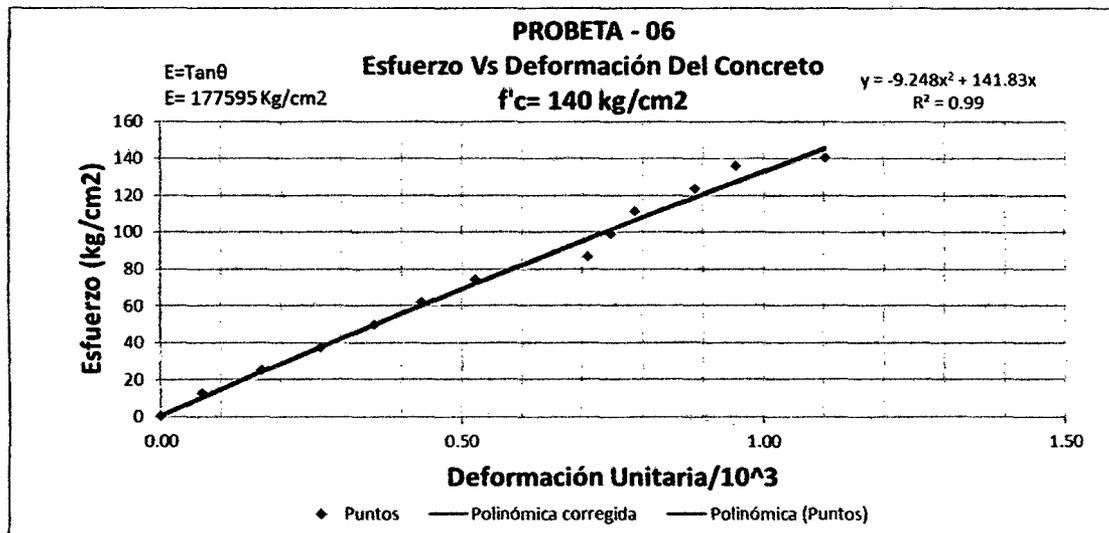
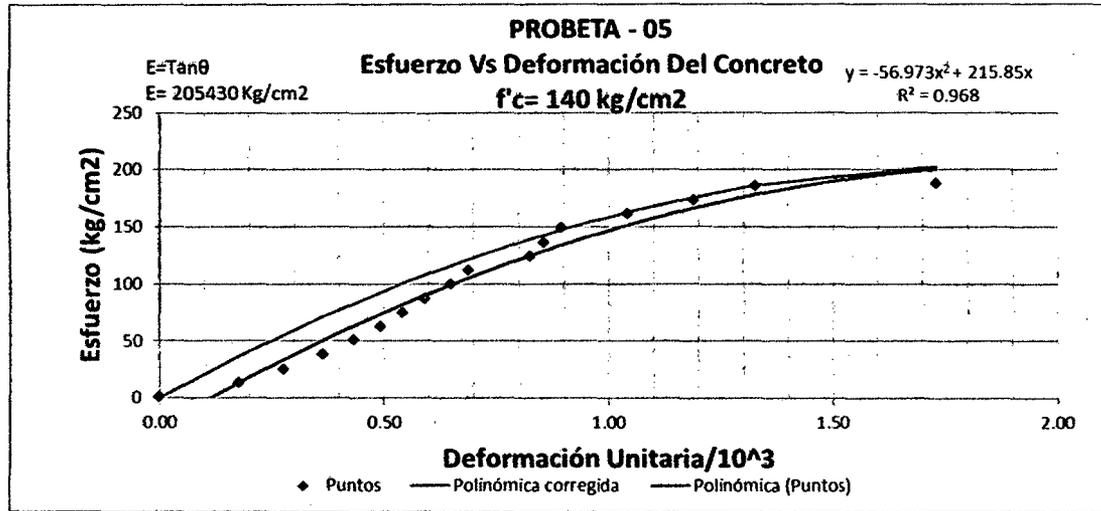
PROBETA - 03				
Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
250	0.10	0.0984	12.3396	31.794
500	0.15	0.1476	24.6792	46.820
750	0.21	0.2067	37.0188	64.084
1000	0.27	0.2657	49.3583	80.512
1250	0.32	0.3150	61.6979	93.563
1500	0.37	0.3642	74.0375	106.033
1750	0.40	0.3937	86.3771	113.237
2000	0.44	0.4331	98.7167	122.516
2250	0.47	0.4626	111.0563	129.231
2500	0.50	0.4921	123.3959	135.738
2750	0.55	0.5413	135.7354	146.117
3000	0.59	0.5807	148.0750	154.002
3250	0.64	0.6299	160.4146	163.336
3500	0.68	0.6693	172.7542	170.385
3750	0.74	0.7283	185.0938	180.261
4000	0.88	0.8661	197.4334	200.053
4080	1.12	1.1024	201.38	223.39
Ecuación			Esf=	$-119.91x^2+334.82x$
Coef. de correlación			R2=	0.968
Def. Unitaria (mm)				1.10
Esf. De rotura (Kg/cm ²)				201.38
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)				212864

PROBETA - 04				
Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
250	0.10	0.0984	12.3396	8.085
500	0.16	0.1575	24.6792	12.914
750	0.60	0.5906	37.0188	47.790
1000	0.74	0.7283	49.3583	58.691
1250	0.86	0.8465	61.6979	67.960
1500	1.04	1.0236	74.0375	81.733
1750	1.12	1.1024	86.3771	87.804
2000	1.21	1.1909	98.7167	94.597
2250	1.33	1.3091	111.0563	103.595
2500	1.47	1.4469	123.3959	114.003
2750	1.60	1.5748	135.7354	123.584
3000	1.80	1.7717	148.0750	138.165
3050	2.17	2.1358	150.54	164.63
Ecuación			Esf=	$-2.487x^2+82.39x$
Coef. de correlación			R2=	0.968
Def. Unitaria (mm)				2.14
Esf. De rotura (Kg/cm ²)				150.54
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)				184044





PROBETA - 05					PROBETA - 06				
Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.	Carga (Kg)	Def. (mm)	Def. Unit (mm)	Esfuerzo	Esfuerzo corr.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
250	0.18	0.1772	12.3396	36.454	250	0.07	0.0689	12.3396	9.728
500	0.28	0.2756	24.6792	55.160	500	0.17	0.1673	24.6792	23.474
750	0.37	0.3642	37.0188	71.052	750	0.27	0.2657	37.0188	37.040
1000	0.44	0.4331	49.3583	82.795	1000	0.36	0.3543	49.3583	49.096
1250	0.50	0.4921	61.6979	92.429	1250	0.44	0.4331	61.6979	59.691
1500	0.55	0.5413	74.0375	100.154	1500	0.53	0.5217	74.0375	71.473
1750	0.60	0.5906	86.3771	107.604	1750	0.72	0.7087	86.3771	95.870
2000	0.66	0.6496	98.7167	116.178	2000	0.76	0.7480	98.7167	100.923
2250	0.70	0.6890	111.0563	121.674	2250	0.80	0.7874	111.0563	105.949
2500	0.84	0.8268	123.3959	139.518	2500	0.90	0.8858	123.3959	118.386
2750	0.87	0.8563	135.7354	143.060	2750	0.97	0.9547	135.7354	126.985
3000	0.91	0.8957	148.0750	147.629	2840	1.12	1.1024	140.18	145.12
3250	1.06	1.0433	160.4146	163.188					
3500	1.21	1.1909	172.7542	176.263					
3750	1.35	1.3287	185.0938	186.225					
3800	1.76	1.7323	187.56	202.96					
Ecuación			Esf.=	$-56.973x^2+215.85x$	Ecuación			Esf.=	$-9.24x^2+141.83x$
Coef. de correlación			R2=	0.968	Coef. de correlación			R2=	0.99
Def. Unitaria (mm)				1.73	Def. Unitaria (mm)				1.10
Esf. De rotura (Kg/cm2)				187.56	Esf. De rotura (Kg/cm2)				140.18
Módulo de elasticidad (kg/cm2)				205430	Módulo de elasticidad (kg/cm2)				177595





Anexo N° 3. Análisis y resultados de ensayos a compresión axial de pilas de albañilería.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	267.84
Altura (cm)	51.6

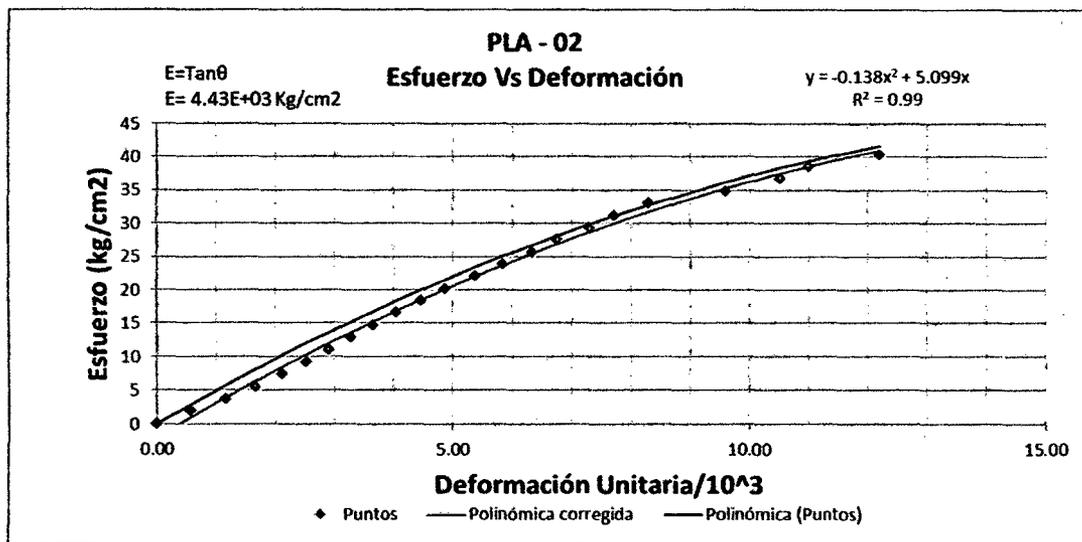
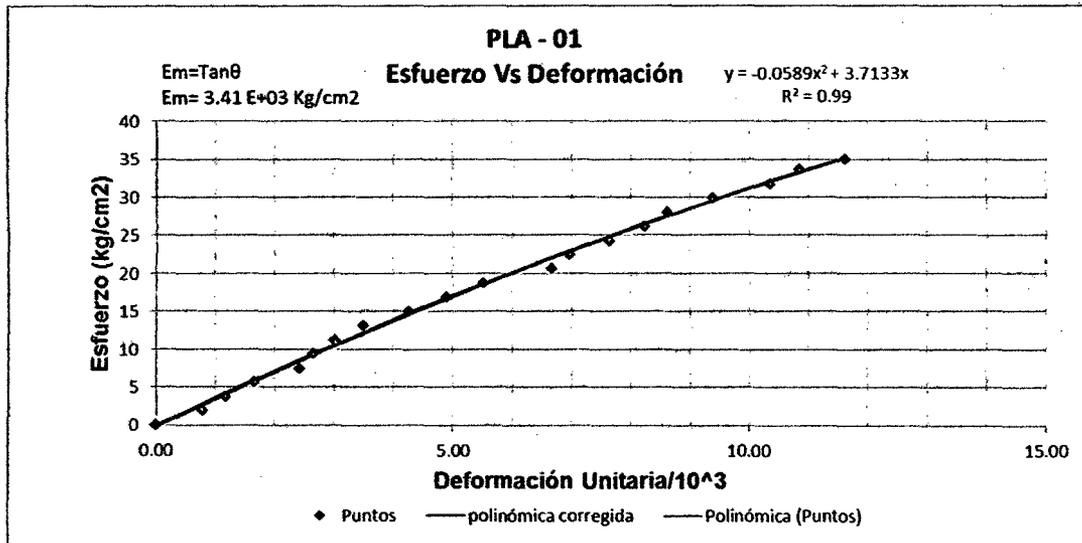
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	272.64
Altura (cm)	51.8

PLA - 01				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.40	0.7752	1.8688	2.843
1000	0.60	1.1628	3.7336	4.238
1500	0.85	1.6473	5.6004	5.957
2000	1.25	2.4225	7.4671	8.650
2500	1.37	2.6550	9.3339	9.444
3000	1.55	3.0039	11.2007	10.623
3500	1.80	3.4884	13.0675	12.237
4000	2.20	4.2636	14.9343	14.761
4500	2.53	4.9031	16.8011	16.791
5000	2.85	5.5233	18.6679	18.713
5500	3.45	6.6860	20.5346	22.194
6000	3.60	6.9767	22.4014	23.040
6500	3.95	7.6550	24.2682	24.974
7000	4.25	8.2364	26.1350	26.589
7500	4.45	8.6240	28.0018	27.643
8000	4.85	9.3992	29.8686	29.699
8500	5.35	10.3682	31.7354	32.169
9000	5.60	10.8527	33.6022	33.362
9350	6.00	11.63	34.91	35.21

Ecuación	Esf.=	-0.05889x ² +3.7133x
Coef. de correlación	R ² =	0.99
Def. Unitaria (mm)		11.63
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		35.21
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		3.39E+03

PLA - 02				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.30	0.5792	1.8339	2.907
1000	0.60	1.1583	3.6678	5.721
1500	0.86	1.6602	5.5018	8.085
2000	1.10	2.1236	7.3357	10.205
2500	1.31	2.5290	9.1696	12.011
3000	1.50	2.8958	11.0035	13.606
3500	1.70	3.2819	12.8374	15.245
4000	1.89	3.6486	14.6714	16.763
4500	2.09	4.0347	16.5053	18.322
5000	2.31	4.4595	18.3392	19.988
5500	2.52	4.8649	20.1731	21.532
6000	2.78	5.3668	22.0070	23.381
6500	3.02	5.8301	23.8410	25.026
7000	3.28	6.3320	25.6749	26.741
7500	3.50	6.7568	27.5088	28.137
8000	3.78	7.2973	29.3427	29.842
8500	4.00	7.7220	31.1766	31.125
9000	4.30	8.3012	33.0106	32.794
9500	4.97	9.5946	34.8445	36.186
10000	5.45	10.5212	36.6784	38.332
10500	5.70	11.0039	38.5123	39.355
11000	6.32	12.20	40.35	41.61

Ecuación	Esf.=	-0.138x ² +5.099x
Coef. de correlación	R ² =	0.99
Def. Unitaria (mm)		12.20
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		41.61
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		4.43E+03





ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
AXIAL

Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	268.75
Altura (cm)	51.00

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
AXIAL

Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	270.00
Altura (cm)	52.00

PLA - 03

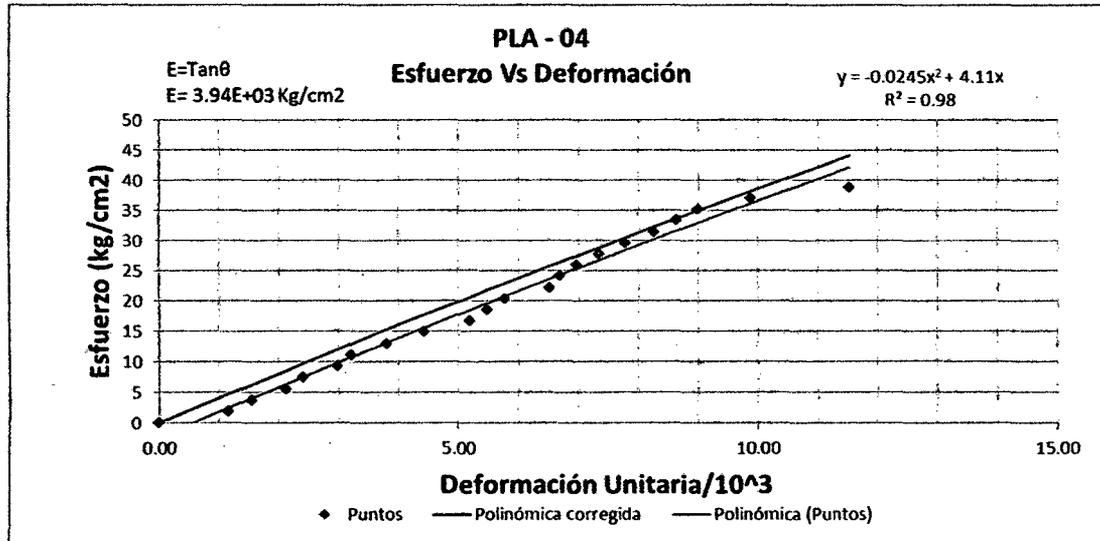
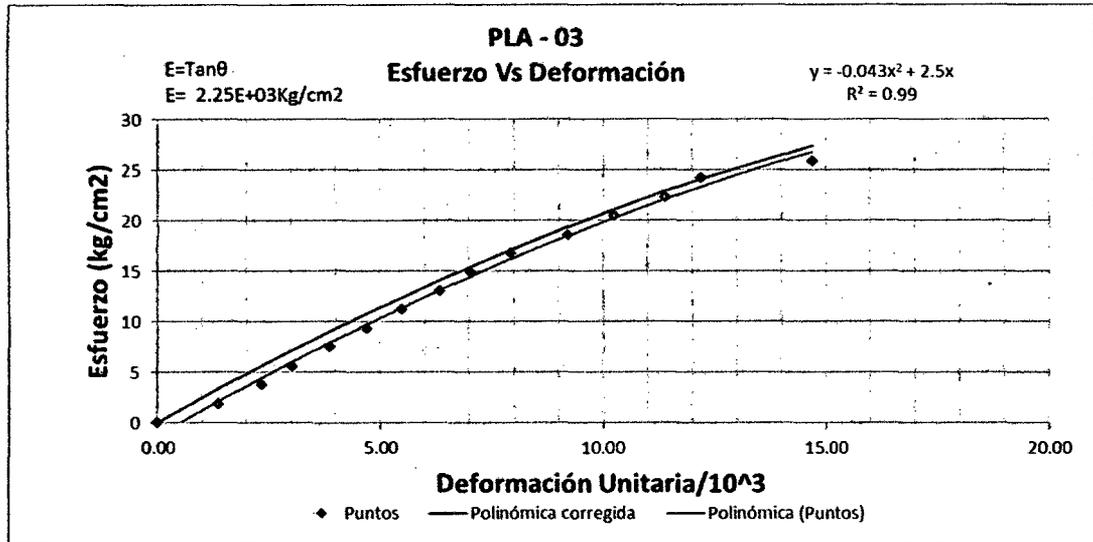
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.70	1.3725	1.8605	3.351
1000	1.20	2.3529	3.7209	5.645
1500	1.55	3.0392	5.5814	7.202
2000	1.97	3.8627	7.4419	9.016
2500	2.40	4.7059	9.3023	10.812
3000	2.80	5.4902	11.1628	12.428
3500	3.24	6.3529	13.0233	14.144
4000	3.60	7.0588	14.8837	15.501
4500	4.05	7.9412	16.7442	17.136
5000	4.70	9.2157	18.6047	19.378
5500	5.23	10.2549	20.4651	21.103
6000	5.82	11.4118	22.3256	22.914
6500	6.23	12.2157	24.1860	24.103
6950	7.50	14.71	25.86	27.44

Ecuación	Esf=	-0.043x ² +2.5x
Coef. de correlación	R2=	0.99
Def. Unitaria (mm)		14.71
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		27.44
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		2.25E+03

PLA - 04

P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.60	1.1538	1.8519	4.710
1000	0.80	1.5385	3.7037	6.266
1500	1.10	2.1154	5.5556	8.586
2000	1.25	2.4038	7.4074	9.739
2500	1.55	2.9808	9.2593	12.035
3000	1.67	3.2115	11.1111	12.948
3500	1.98	3.8077	12.9630	15.296
4000	2.30	4.4231	14.8148	17.702
4500	2.70	5.1923	16.6667	20.683
5000	2.85	5.4808	18.5185	21.793
5500	3.00	5.7692	20.3704	22.899
6000	3.39	6.5192	22.2222	25.756
6500	3.48	6.6923	24.0741	26.412
7000	3.63	6.9808	25.9259	27.501
7500	3.82	7.3462	27.7778	28.874
8000	4.05	7.7885	29.6296	30.528
8500	4.30	8.2692	31.4815	32.315
9000	4.50	8.6538	33.3333	33.737
9500	4.68	9.0000	35.1852	35.010
10000	5.14	9.8846	37.0370	38.237
10500	6.00	11.54	38.89	44.17

Ecuación	Esf=	-0.0245x ² +4.11x
Coef. de correlación	R2=	0.98
Def. Unitaria (mm)		11.54
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		44.17
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		3.94E+03





ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	292.50
Altura (cm)	61.30

PLI - 01

P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.37	0.6036	1.7094	4.991
1000	0.45	0.7341	3.4188	6.048
1500	0.58	0.9462	5.1282	7.748
2000	0.77	1.2561	6.8376	10.195
2500	0.95	1.5498	8.5470	12.472
3000	1.15	1.8760	10.2564	14.955
3500	1.30	2.1207	11.9658	16.784
4000	1.45	2.3654	13.6752	18.585
4500	1.63	2.6591	15.3846	20.710
5000	1.70	2.7732	17.0940	21.526
5500	1.85	3.0179	18.8034	23.253
6000	1.97	3.2137	20.5128	24.614
6500	2.05	3.3442	22.2222	25.512
7000	2.15	3.5073	23.9316	26.622
7500	2.33	3.8010	25.6410	28.591
8000	2.45	3.9967	27.3504	29.881
8500	2.58	4.2088	29.0598	31.258
9000	2.73	4.4535	30.7692	32.820
9500	2.85	4.6493	32.4786	34.051
10000	2.95	4.8124	34.1880	35.062
10500	3.10	5.0571	35.8974	36.556
11000	3.30	5.3834	37.6068	38.504
11500	3.55	5.7912	39.3162	40.870
12000	3.68	6.0033	41.0256	42.069
12500	3.81	6.2153	42.7350	43.247
13000	4.10	6.6884	44.4444	45.800
13500	4.50	7.3409	46.1538	49.150
13950	5.00	8.16	47.69	53.06

Ecuación	Esf.=	$-0.23x^2+8.409x$
Coef. de correlación	R ² =	0.98
Def. Unitaria (mm)		8.16
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		53.06
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		7.58E+03

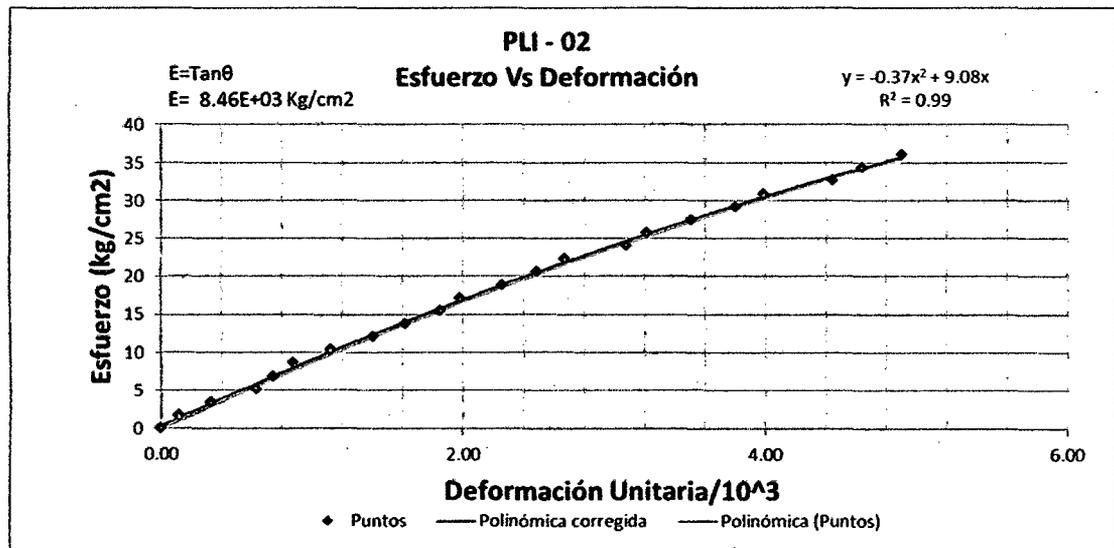
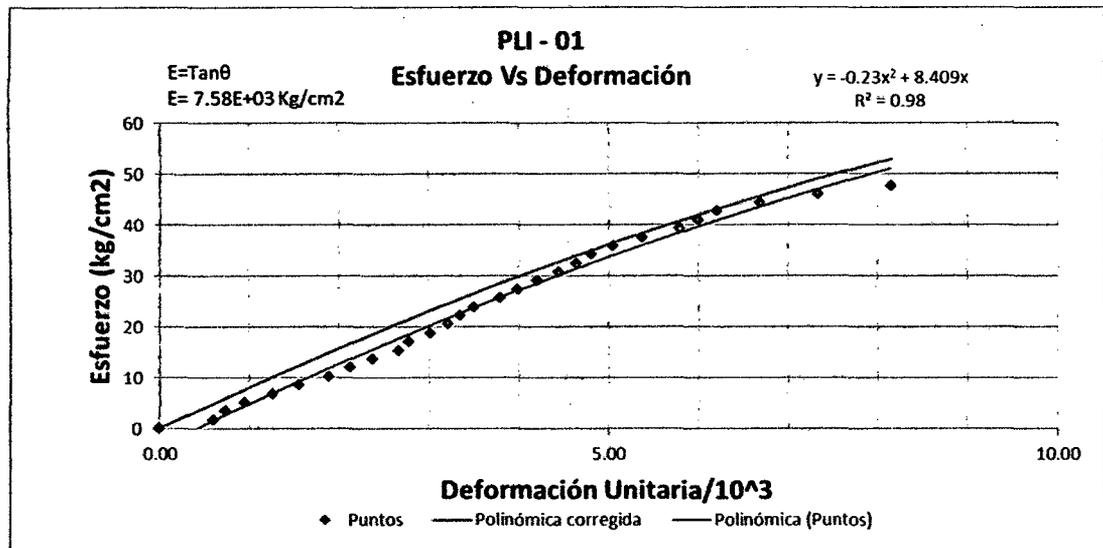
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	291.40
Altura (cm)	60.70

PLI - 02

P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.07	0.1153	1.7159	1.043
1000	0.20	0.3295	3.4317	2.952
1500	0.38	0.6260	5.1476	5.540
2000	0.45	0.7414	6.8634	6.528
2500	0.53	0.8731	8.5793	7.645
3000	0.68	1.1203	10.2951	9.705
3500	0.85	1.4003	12.0110	11.983
4000	0.98	1.6145	13.7268	13.686
4500	1.12	1.8451	15.4427	15.481
5000	1.20	1.9769	17.1585	16.489
5500	1.37	2.2570	18.8744	18.586
6000	1.51	2.4876	20.5903	20.270
6500	1.62	2.6689	22.3061	21.564
7000	1.87	3.0807	24.0220	24.415
7500	1.95	3.2125	25.7378	25.300
8000	2.13	3.5091	27.4537	27.244
8500	2.31	3.8056	29.1695	29.121
9000	2.42	3.9868	30.8854	30.236
9500	2.70	4.4481	32.6012	32.962
10000	2.82	4.6458	34.3171	34.081
10500	2.98	4.91	36.03	35.53

Ecuación	Esf.=	$-0.37x^2+9.08x$
Coef. de correlación	R ² =	0.99
Def. Unitaria (mm)		4.91
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		35.53
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		8.46E+03



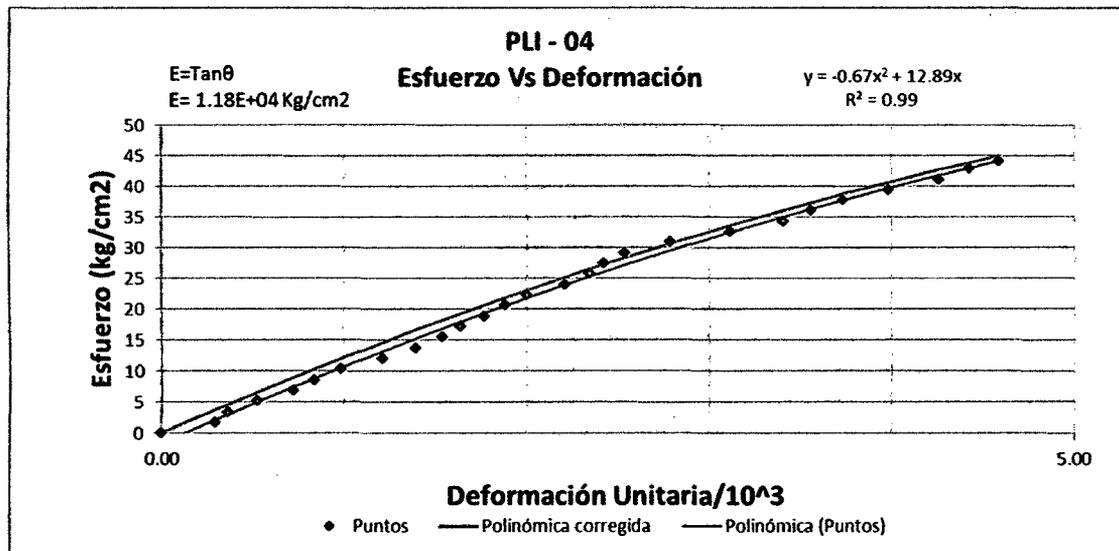
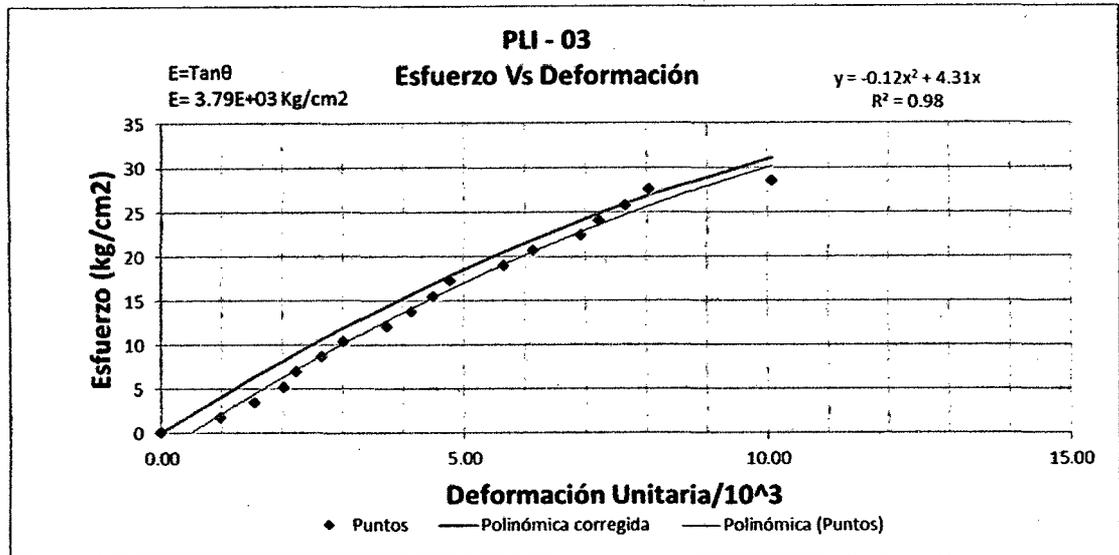


ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	291.25
Altura (cm)	61.80

PLI - 03				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.60	0.9709	1.7167	4.073
1000	0.95	1.5372	3.4335	6.343
1500	1.25	2.0227	5.1502	8.227
2000	1.38	2.2330	6.8670	9.025
2500	1.64	2.6537	8.5837	10.589
3000	1.86	3.0097	10.3004	11.879
3500	2.30	3.7217	12.0172	14.366
4000	2.55	4.1262	13.7339	15.724
4500	2.78	4.4984	15.4506	16.938
5000	2.95	4.7735	17.1674	17.814
5500	3.50	5.6634	18.8841	20.521
6000	3.80	6.1489	20.6009	21.916
6500	4.28	6.9256	22.3176	24.029
7000	4.47	7.2330	24.0343	24.824
7500	4.74	7.6699	25.7511	25.915
8000	4.98	8.0583	27.4678	26.846
8300	6.23	10.08	28.50	31.10
Ecuación	Esf.=	$-0.12x^2+4.31x$		
Coef. de correlación	R ² =	0.98		
Def. Unitaria (mm)		10.08		
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		31.10		
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		3.79E+03		

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de la probeta (cm ²)	291.25
Altura (cm)	61.00

PLI - 04				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.18	0.2951	1.7167	3.747
1000	0.22	0.3607	3.4335	4.564
1500	0.32	0.5246	5.1502	6.580
2000	0.44	0.7213	6.8670	8.952
2500	0.51	0.8361	8.5837	10.312
3000	0.60	0.9836	10.3004	12.034
3500	0.74	1.2131	12.0172	14.655
4000	0.85	1.3934	13.7339	16.664
4500	0.94	1.5410	15.4506	18.275
5000	1.00	1.6393	17.1674	19.333
5500	1.08	1.7705	18.8841	20.724
6000	1.15	1.8852	20.6009	21.921
6500	1.22	2.0000	22.3176	23.101
7000	1.35	2.2131	24.0343	25.245
7500	1.43	2.3443	25.7511	26.534
8000	1.48	2.4262	27.4678	27.328
8500	1.55	2.5410	29.1845	28.424
9000	1.70	2.7869	30.9013	30.714
9500	1.90	3.1148	32.6180	33.640
10000	2.08	3.4098	34.3348	36.149
10500	2.17	3.5574	36.0515	37.360
11000	2.28	3.7377	37.7682	38.800
11500	2.43	3.9836	39.4850	40.693
12000	2.60	4.2623	41.2017	42.741
12500	2.70	4.4262	42.9185	43.896
12860	2.80	4.59	44.15	45.02
Ecuación	Esf.=	$-0.67x^2+12.89x$		
Coef. de correlación	R ² =	0.99		
Def. Unitaria (mm)		4.59		
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		45.02		
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		1.18E+04		





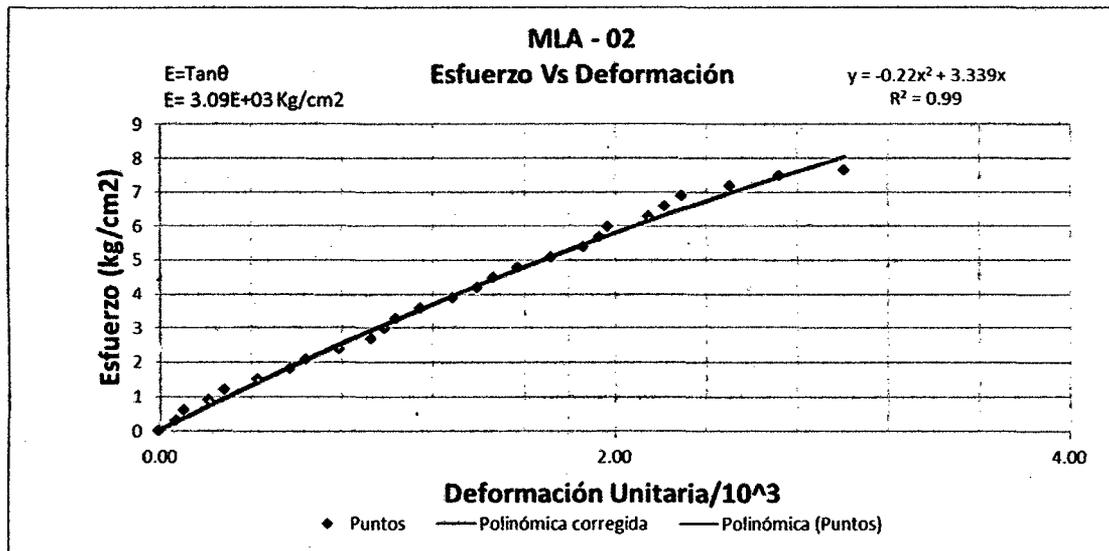
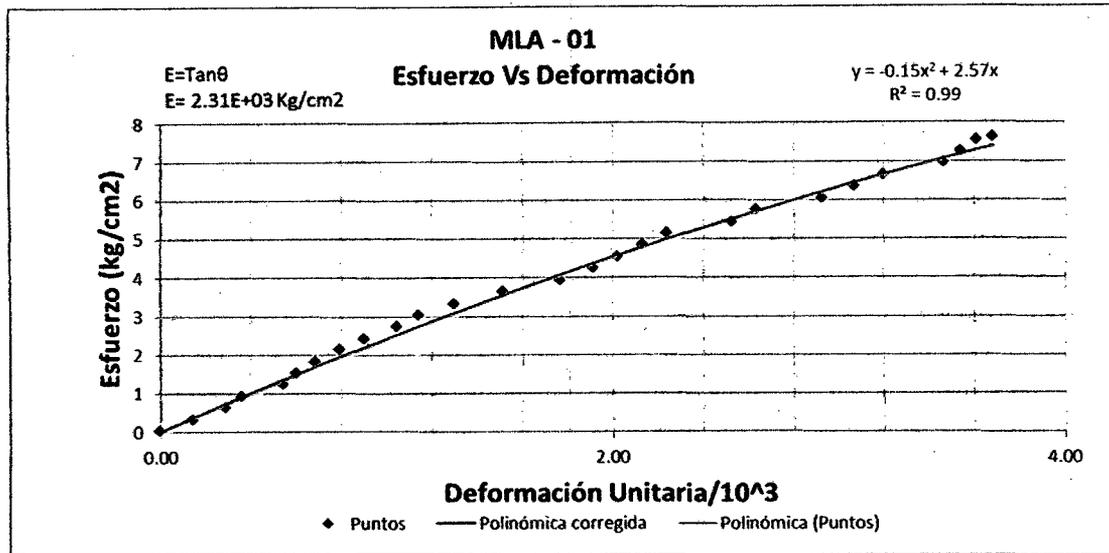
Anexo N° 4. Análisis y resultados de ensayos a resistencia de corte de muretes de albañilería.

ENSAYO DE RESISTENCIA A CORTE	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de corte (cm ²)	1658.64
Longitud de corte (cm)	138.22

ENSAYO DE RESISTENCIA A CORTE	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de corte (cm ²)	1672.68
Longitud de corte (cm)	139.39

MLA - 01				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.20	0.1447	0.3015	0.369
1000	0.40	0.2894	0.6029	0.731
1500	0.50	0.3617	0.9044	0.910
2000	0.75	0.5426	1.2058	1.349
2500	0.83	0.6005	1.5073	1.488
3000	0.95	0.6873	1.8087	1.694
3500	1.10	0.7958	2.1102	1.948
4000	1.25	0.9044	2.4116	2.199
4500	1.45	1.0491	2.7131	2.527
5000	1.58	1.1431	3.0145	2.737
5500	1.80	1.3023	3.3160	3.086
6000	2.10	1.5193	3.6174	3.550
6500	2.45	1.7725	3.9189	4.073
7000	2.65	1.9172	4.2203	4.363
7500	2.80	2.0258	4.5218	4.576
8000	2.95	2.1343	4.8232	4.786
8500	3.10	2.2428	5.1247	4.992
9000	3.50	2.5322	5.4261	5.523
9500	3.65	2.6407	5.7276	5.716
10000	4.05	2.9301	6.0290	6.212
10500	4.25	3.0748	6.3305	6.450
11000	4.43	3.2050	6.6319	6.659
11500	4.80	3.4727	6.9334	7.073
12000	4.90	3.5451	7.2348	7.181
12500	5.00	3.6174	7.5363	7.287
12620	5.10	3.69	7.61	7.39
Ecuación		Esf.=	$-0.15x^2+2.57x$	
Coef. de correlación		R ² =	0.99	
Def. Unitaria (mm)			3.69	
Esf. De rotura (Kg/cm ²)			7.39	
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)			2.31E+03	

MLA - 02				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.10	0.0717	0.2989	0.238
1000	0.15	0.1076	0.5978	0.357
1500	0.30	0.2152	0.8968	0.708
2000	0.40	0.2870	1.1957	0.940
2500	0.60	0.4304	1.4946	1.396
3000	0.80	0.5739	1.7935	1.843
3500	0.90	0.6457	2.0925	2.062
4000	1.10	0.7892	2.3914	2.495
4500	1.30	0.9326	2.6903	2.919
5000	1.38	0.9900	2.9892	3.086
5500	1.45	1.0402	3.2881	3.231
6000	1.60	1.1479	3.5871	3.537
6500	1.80	1.2913	3.8860	3.937
7000	1.95	1.3990	4.1849	4.232
7500	2.05	1.4707	4.4838	4.425
8000	2.20	1.5783	4.7827	4.711
8500	2.40	1.7218	5.0817	5.083
9000	2.60	1.8653	5.3806	5.447
9500	2.70	1.9370	5.6795	5.625
10000	2.75	1.9729	5.9784	5.713
10500	3.00	2.1522	6.2774	6.146
11000	3.10	2.2240	6.5763	6.315
11500	3.20	2.2957	6.8752	6.482
12000	3.50	2.5109	7.1741	6.968
12500	3.80	2.7262	7.4730	7.434
12780	4.20	3.01	7.64	8.02
Ecuación		Esf.=	$-0.22x^2+3.339x$	
Coef. de correlación		R ² =	0.99	
Def. Unitaria (mm)			3.01	
Esf. De rotura (Kg/cm ²)			8.02	
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)			3.09E+03	





ENSAYO DE RESISTENCIA A CORTE	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de corte (cm ²)	1685.63
Longitud de corte (cm)	134.85

ENSAYO DE RESISTENCIA A CORTE	
Cemento	Pacasmayo Tipo 1
Edad	25 días
Fecha de elaboración	31/01/2013
Fecha de rotura	25/02/2013
Área de corte (cm ²)	1685.63
Longitud de corte (cm)	134.85

MLI - 01				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.30	0.2225	0.2966	0.861
1000	0.50	0.3708	0.5933	1.405
1500	0.60	0.4449	0.8899	1.668
2000	0.80	0.5933	1.1865	2.177
2500	0.90	0.6674	1.4831	2.422
3000	0.95	0.7045	1.7798	2.542
3500	1.00	0.7416	2.0764	2.661
4000	1.10	0.8157	2.3730	2.894
4500	1.20	0.8899	2.6696	3.121
5000	1.30	0.9640	2.9663	3.343
5500	1.50	1.1123	3.2629	3.767
6000	1.70	1.2607	3.5595	4.168
6500	1.90	1.4090	3.8561	4.544
7000	2.00	1.4831	4.1528	4.724
7500	2.00	1.4831	4.4494	4.724
8000	2.10	1.5573	4.7460	4.897
8500	2.30	1.7056	5.0426	5.226
9000	2.50	1.8539	5.3393	5.531
9500	2.80	2.0764	5.6359	5.943
10000	3.00	2.2247	5.9325	6.189
10500	3.10	2.2989	6.2291	6.302
11000	3.50	2.5955	6.5258	6.697
11500	3.80	2.8179	6.8224	6.930
12000	5.00	3.71	7.12	7.32
Ecuación	Esf.=	$-0.54x^2+3.99x$		
Coef. de correlación	R ² =	0.98		
Def. Unitaria (mm)		3.71		
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		7.32		
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		3.33E+03		

MLI - 02				
P (Kg)	D (mm)	e (mm)	s	s corregido.
0	0.00	0.0000	0.0000	0.000
500	0.20	0.1468	0.2936	0.290
1000	0.40	0.2936	0.5873	0.576
1500	0.70	0.5139	0.8809	0.997
2000	1.00	0.7341	1.1746	1.407
2500	1.40	1.0277	1.4682	1.939
3000	1.70	1.2480	1.7619	2.326
3500	2.00	1.4682	2.0555	2.702
4000	2.10	1.5416	2.3491	2.826
4500	2.20	1.6150	2.6428	2.948
5000	2.30	1.6884	2.9364	3.069
5500	2.50	1.8353	3.2301	3.308
6000	2.70	1.9821	3.5237	3.542
6500	2.80	2.0555	3.8174	3.658
7000	3.00	2.2023	4.1110	3.885
7500	3.20	2.3491	4.4046	4.108
8000	3.40	2.4960	4.6983	4.327
8500	3.90	2.8630	4.9919	4.854
9000	4.70	3.4503	5.2856	5.639
9500	5.00	3.6705	5.5792	5.914
10000	5.50	4.0376	5.8729	6.351
10500	5.70	4.1844	6.1665	6.518
11000	5.80	4.2578	6.4601	6.600
11500	5.90	4.3312	6.7538	6.681
12000	6.00	4.40	7.05	6.76
Ecuación	Esf.=	$-0.10x^2+1.99x$		
Coef. de correlación	R ² =	0.98		
Def. Unitaria (mm)		4.40		
Esf. De rotura (Kg/cm ²)		6.76		
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)		1.78E+03		

