

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



TESIS

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ALBAÑILERÍA CON
LADRILLOS DE CONCRETO ELABORADOS ARTESANALMENTE EN LA
CIUDAD DE SAN MARCOS”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
MIGUEL ANGEL CHÁVEZ CUENCA**

**ASESOR:
Dra. Ing. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**

Cajamarca - Perú, 2019

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por haberme dado la vida y por haber guiado mis pasos a lo largo de todos mis estudios, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y cumplir mis metas y anhelos.

De igual manera agradecer a mis padres y hermano por ser mi pilar fundamental y mi mayor inspiración; que, a través de su apoyo incondicional, amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino como persona y como profesional.

Finalmente, a mi querida Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme acogido y permitido concluir con una etapa de mi vida; gracias a mis compañeros de estudio y docentes, muy en especial a la Dr. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón por su asesoría, orientación y guía durante el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por estar siempre presente conmigo, a mis padres Oswaldo Chávez Cachay y María Austerbertha Cuenca Tapia quienes a lo largo de mi vida supieron forjarme con su ejemplo, consejos y buenos valores por el camino del bien; y a mi hermano Eric Omar Chávez Cuenca por estar siempre apoyándome en las diferentes etapas de mi carrera profesional.

CONTENIDO GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
CONTENIDO GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. HIPÓTESIS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.5. ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. LIMITACIONES.....	16
1.7. OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	19
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.2.1. Albañilería o mampostería	22
2.2.2. Tipos de albañilería	22
2.2.3. Componentes de la albañilería	23
2.2.4. Propiedades y ensayos de la albañilería simple.....	40
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	50
2.4. MARCO NORMATIVO.....	51
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	54
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
3.3.1. Tipo de la investigación	54
3.3.2. Diseño de la investigación.....	55

3.3.3.	Población y muestra de estudio	55
3.3.4.	Método de investigación	57
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		80
4.1.	ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO DE CONCRETO	81
4.1.1.	Ensayo de variación dimensional	81
4.1.2.	Ensayo de alabeo	82
4.1.3.	Ensayo de resistencia a compresión	83
4.2.	ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO DE CONCRETO ..	84
4.2.1.	Ensayo de Absorción.....	84
4.2.2.	Ensayo de Succión.....	85
4.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO.....	86
4.4.	PRISMAS DE ALBAÑILERÍA CON LADRILLOS DE CONCRETO	87
4.4.1.	Pilas de albañilería con ladrillos de concreto	87
4.4.2.	Muretes de albañilería con ladrillos de concreto.....	88
4.5.	ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO.....	89
4.6.	CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS	90
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		91
5.1.	CONCLUSIONES.....	92
5.2.	RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		94
ANEXOS.....		96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	25
Tabla 2. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	25
Tabla 3. Módulo de ruptura (valores mínimos aproximados) y succión	33
Tabla 4. Tipos y características de los cementos Portland	36
Tabla 5. Tipos y aplicaciones de los cementos Portland adicionados	36
Tabla 6. Otros tipos y aplicaciones de los cementos Portland adicionados.....	36
Tabla 7. Granulometría de la arena gruesa	37
Tabla 8. Límites de sustancias dañinas, ASTM C-33.....	38
Tabla 9. Tipos de mortero.....	39
Tabla 10. Influencia de la cal en la resistencia del mortero.....	39
Tabla 11. Tipos de mortero, ASTM-270	39
Tabla 12. Especificaciones por propiedades.....	40
Tabla 13. Incremento de f'_m y v'_m por edad	41
Tabla 14. Factor de corrección de altura a espesores para resistencia a compresión	43
Tabla 15. Factores de corrección f'_m por esbeltez	43
Tabla 16. Métodos para determinar f'_m y v'_m	48
Tabla 17. Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm^2).....	49
Tabla 18. Características del mortero	78
Tabla 19. Variación dimensional del ladrillo de concreto.....	81
Tabla 20. Alabeo del ladrillo de concreto.....	82
Tabla 21. Resistencia característica a compresión axial del ladrillo de concreto.....	83
Tabla 22. Absorción, contenido de humedad y densidad del ladrillo de concreto	84
Tabla 23. Succión del ladrillo de concreto	85
Tabla 24. Clasificación de las unidades de la ladrillera Aguilar	86
Tabla 25. Clasificación de las unidades de la ladrillera Lezama	86
Tabla 26. Resistencia a compresión axial y módulo de elasticidad en pilas	87
Tabla 27. Resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en muretes	88
Tabla 28. Análisis de resistencia al corte.....	89
Tabla 29. Resultados del ensayo a compresión del mortero.....	89
Tabla 30. Ensayo de variación dimensional para la longitud efectiva	96
Tabla 31. Ensayo de variación dimensional para el ancho efectivo	97
Tabla 32. Ensayo de variación dimensional para el alto efectivo.....	98

Tabla 33. Ensayo de alabeo para los especímenes de la ladrillera Aguilar	99
Tabla 34. Ensayo de alabeo para los especímenes de la ladrillera Lezama.....	99
Tabla 35. Ensayo de compresión axial para los especímenes de la ladrillera Aguilar	100
Tabla 36. Ensayo de compresión axial para los especímenes de la ladrillera Lezama.	101
Tabla 37. Ensayo de absorción para los especímenes de la ladrillera Aguilar	102
Tabla 38. Ensayo de absorción para los especímenes de la ladrillera Lezama.....	103
Tabla 39. Ensayo de succión para los especímenes de la ladrillera Aguilar	104
Tabla 40. Ensayo de succión para los especímenes de la ladrillera Lezama.....	105
Tabla 41. Resistencia a compresión axial en pilas de la ladrillera Aguilar	106
Tabla 42. Resistencia a compresión axial en pilas de la ladrillera Lezama.....	107
Tabla 43. Módulo de elasticidad en pilas de la ladrillera Aguilar	108
Tabla 44. Módulo de elasticidad en pilas de la ladrillera Lezama.....	108
Tabla 45. Esfuerzo y deformación unitaria PA-2	109
Tabla 46. Esfuerzo y deformación unitaria PA-5	110
Tabla 47. Esfuerzo y deformación unitaria PA-6	111
Tabla 48. Esfuerzo y deformación unitaria PA-7	112
Tabla 49. Esfuerzo y deformación unitaria PL-1.....	113
Tabla 50. Esfuerzo y deformación unitaria PL-5.....	114
Tabla 51. Esfuerzo y deformación unitaria PL-7.....	115
Tabla 52. Esfuerzo y deformación unitaria PL-10.....	116
Tabla 53. Resistencia al corte en muretes de la ladrillera Aguilar	117
Tabla 54. Resistencia al corte en muretes de la ladrillera Lezama	117
Tabla 55. Módulo de corte en muretes de la ladrillera Aguilar	118
Tabla 56. Módulo de corte en muretes de la ladrillera Lezama.....	118
Tabla 57. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-A1	119
Tabla 58. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-A3.....	121
Tabla 59. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-L1	123
Tabla 60. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-L5	125
Tabla 61. Ensayo de granulometría N° 01.....	127
Tabla 62. Ensayo de granulometría N° 02.....	128
Tabla 63. Ensayo de granulometría N° 03.....	129
Tabla 64. Módulo de finura promedio.....	129
Tabla 65. Peso específico y absorción del agregado fino	130
Tabla 66. Peso específico del agua	130

Tabla 67. Factor de calibración del recipiente	131
Tabla 68. Peso unitario suelto seco.....	131
Tabla 69. Peso unitario seco compactado.....	131
Tabla 70. Material más fino que pasa el tamiz N° 200.....	132
Tabla 71. Contenido de humedad del agregado fino	132
Tabla 72. Ensayo a compresión del mortero para determinar la relación A/C.....	137
Tabla 73. Ensayo de resistencia a compresión del mortero a los 28 días.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso general de producción de ladrillos de concreto	30
Figura 2. Ensayo y agrietamiento típico en pilas a compresión	42
Figura 3. Ensayo de corte a compresión diagonal	45
Figura 4. Tipos de fallas en muretes de albañilería sujetos a compresión diagonal.....	46
Figura 5. Ubicación geográfica de la región y provincia de Cajamarca	53
Figura 6. Ubicación geográfica donde se realizó la investigación	53
Figura 7. Ubicación geográfica de la provincia de San Marcos (a)	55
Figura 8. Ubicación geográfica de ladrillera Aguilar	56
Figura 9. Ubicación geográfica de la provincia de San Marcos (b)	56
Figura 10. Ubicación geográfica de ladrillera Lezama	57
Figura 11. Fabricación de unidades de concreto en la ladrillera Aguilar	140
Figura 12. Selección de la muestra para la investigación.....	140
Figura 13. Fabricación de unidades de concreto en la ladrillera Lezama	140
Figura 14. Ladrillo de concreto artesanal de la ladrillera Aguilar.....	140
Figura 15. Marcado e identificación de los especímenes	140
Figura 16. Ensayo de variación dimensional para los especímenes	140
Figura 17. Medición del alabeo en los especímenes	141
Figura 18. Refrentado de especímenes para el ensayo de compresión axial.....	141
Figura 19. Peso de los especímenes de ambas ladrilleras	141
Figura 20. Modo de falla a compresión axial del espécimen MA2.....	141
Figura 21. Modo de falla a compresión axial del espécimen MA3	141
Figura 22. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML2	141
Figura 23. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML7	142
Figura 24. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML10	142
Figura 25. Colocación de los especímenes en la máquina a compresión.....	142
Figura 26. Saturación de los especímenes de para el ensayo de absorción.....	142
Figura 27. Peso sumergido de los especímenes para el ensayo de absorción	142
Figura 28. Peso saturado de los especímenes para el ensayo de absorción.....	142
Figura 29. Ensayo de succión en uno de los especímenes	143
Figura 30. Peso de los especímenes para el ensayo de succión.....	143
Figura 31. Ensayo de peso unitario para el agregado fino	143
Figura 32. Ensayo de granulometría para el agregado fino.....	143

Figura 33. Pesos retenidos para el ensayo de granulometría del agregado fino.....	143
Figura 34. Ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino	143
Figura 35. Pilas con unidades de concreto de las ladrilleras Aguilar y Lezama	144
Figura 36. Modo de falla ideal en pila PA-01	144
Figura 37. Modo de falla en pila PA-06	144
Figura 38. Modo de falla ideal en pila PA-08	144
Figura 39. Ensayo de compresión axial en pila PL-03	144
Figura 40. Modo de falla en pila PL-04	144
Figura 41. Modo de falla ideal en pila PL-06.....	145
Figura 42. Modo de falla en pila PL-08	145
Figura 43. Elaboración de muretes de 67.5 x 67.5 cm con unidades de concreto.....	145
Figura 44. Inicio del ensayo a compresión diagonal para muretes.....	145
Figura 45. Falla mixta por tracción diagonal y corte escalonado en murete MT-A2..	145
Figura 46. Falla mixta por corte y tracción diagonal en murete MT-A3	145
Figura 47. Preparación de murete MT-A4 para ensayo a compresión diagonal	146
Figura 48. Preparación de murete MT-L1 para ensayo a compresión diagonal.....	146
Figura 49. Falla mixta por tracción diagonal y corte escalonado en murete MT-L1. .	146
Figura 50. Falla por tracción diagonal y corte en murete MT-L5	146
Figura 51. Ensayo a compresión del espécimen M1 de mortero.....	146
Figura 52. Finalización del ensayo a compresión del mortero.....	146

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas δ vs ε de unidades ensayadas en compresión	31
Gráfico 2. Curvas δ vs ε para pilas ensayadas con ladrillos de concreto.....	42
Gráfico 3. Gráfico compresión diagonal vs deformaciones verticales globales.....	45
Gráfico 4. Resistencias a compresión axial según la Norma E.070 y las obtenidas.....	83
Gráfico 5. Succiones de las unidades de concreto	85
Gráfico 6. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-2.....	109
Gráfico 7. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-5.....	110
Gráfico 8. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-6.....	111
Gráfico 9. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-7	112
Gráfico 10. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-1	113
Gráfico 11. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-5	114
Gráfico 12. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-7	115
Gráfico 13. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-10	116
Gráfico 14. Esfuerzo vs deformación angular en MT-A1	120
Gráfico 15. Esfuerzo vs deformación angular en MT-A3	122
Gráfico 16. Esfuerzo vs deformación angular en MT-L1.....	124
Gráfico 17. Esfuerzo vs deformación angular en MT-L5.....	126
Gráfico 18. Curva granulométrica del ensayo N° 01	127
Gráfico 19. Curva granulométrica del ensayo N° 02.....	128
Gráfico 20. Curva granulométrica del ensayo N° 03.....	129

RESUMEN

La investigación evaluó el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, respecto a la Norma E.070. Los ensayos se realizaron utilizando muestras de las ladrilleras Aguilar y Lezama. Se determinó las propiedades físicas y mecánicas, la compresión axial en pilas, el módulo de elasticidad, la compresión diagonal en muretes y el módulo de corte. Las propiedades físicas – mecánicas fueron: Variación dimensional (MA: +0.11 %, -0.35 % y +0.83 %; ML: -0.32 %, -0.18 % y +2.13 %), alabeo (MA: 1.07 mm y 0.30 mm; ML: 1.73 mm y 0.27 mm), resistencia a compresión axial (f^b) (MA=67.72 kg/cm² y ML=94.04 kg/cm²), absorción (MA=7.04 % y ML=6.44 %) y succión (MA=13.66 gr/min/200cm² y ML=12.89 gr/min/200cm²). En pilas, la compresión axial (f^m) fue PA=33.89 kg/cm² y PL=36.20 kg/cm², y el módulo de elasticidad fue EmA=7594.46 kg/cm² y EmL=9333.49 kg/cm². En muretes, la compresión diagonal (v^m) fue MTA=8.39 kg/cm² y MTL=9.46 kg/cm², y el módulo de corte fue GmA=2118.61 kg/cm² y GmL=1588.03 kg/cm². Los resultados concluyen que el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, cumple en un 70 %, respecto a la Norma E.070.

Palabras Claves: Comportamiento estructural, ladrillo de concreto, propiedades físicas, propiedades mecánicas, compresión axial, compresión diagonal, módulo de elasticidad, módulo de corte.

ABSTRACT

The research evaluated the structural behavior of masonry with handmade concrete bricks in the city of San Marcos, with respect to Standard E.070. The tests were carried out using samples from the Aguilar and Lezama brickyards. Physical-mechanical properties, axial compression in piles, modulus of elasticity, diagonal compression in walls and shear modulus were determined. The physical - mechanical properties were: Dimensional variation (MA: +0.11 %, -0.35 % and +0.83 %; ML: -0.32 %, -0.18 % and +2.13 %), warping (MA: 1.07 mm and 0.30 mm; ML: 1.73 mm and 0.27 mm), resistance to axial compression (f'_b) (MA=67.72 kg/cm² and ML=94.04 kg/cm²), absorption (MA=7.04 % and ML=6.44 %) and suction (MA=13.66 gr/min/200cm² and ML=12.89 gr/min/200cm²). In piles, axial compression (f'_m) was PA=33.89 kg/cm² and PL=36.20 kg/cm², and the modulus of elasticity was EmA=7594.46 kg/cm² and EmL=9333.49 kg/cm². In low walls, the diagonal compression (v'_m) was MTA=8.39 kg/cm² and MTL=9.46 kg/cm², and the shear modulus was GmA=2118.61 kg/cm² and GmL=1588.03 kg/cm². The results conclude that the structural behavior of the masonry with handmade concrete bricks in the city of San Marcos, complies 70 %, with the E.070 Standard.

Key Words: Structural behavior, concrete brick, physical properties, mechanical properties, axial compression, diagonal compression, elastic modulus, shear modulus.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el problema de las construcciones con albañilería tiene gran notoriedad en todo el mundo, debido a su utilización como alternativa constructiva y al gran impacto que estas generan durante la ocurrencia de un evento sísmico; ya que conlleva no solo a tener daños estructurales y económicos, sino también a pérdida de vidas humanas (Gallegos y Casabonne 2005).

En el Perú, el sistema estructural más utilizado para la construcción de viviendas es la albañilería, sobre todo en zonas urbanas y en menor grado en zonas rurales; por lo que es de gran importancia cumplir con los requisitos mínimos indicados en las Normas Técnicas, para el análisis, el diseño, la construcción y el control de calidad de las edificaciones; y así minimizar riesgos y daños estructurales ante un posible evento de sismo. (Zavala 2005).

La región Cajamarca se encuentra en constante expansión territorial y poblacional, y no es ajena a las construcciones de albañilería, es así que, en la ciudad de San Marcos, se construye de manera masiva viviendas mediante este sistema, utilizando el ladrillo de concreto artesanal elaborado en las diversas fábricas existentes. Esto conlleva a una preocupación constante, ya que no se tienen estudios de las características y propiedades de estas unidades, mucho menos del comportamiento estructural de dicha albañilería, con respecto a lo que indican las Normas Técnicas.

Por lo expuesto anteriormente, es necesario evaluar el comportamiento estructural de las unidades de albañilería de concreto de la ciudad de San Marcos; y a partir de los ensayos realizados hacer una comparación de los resultados obtenidos con los valores que indica la Norma E.070, con el fin de determinar si cumplen con dichas especificaciones.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, respecto a la Norma E.070?

1.3. HIPÓTESIS

El comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, cumple en un 70 %, respecto a la Norma E.070.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Siendo la albañilería el sistema constructivo más utilizado en la ciudad de San Marcos, surge la preocupación por conocer su comportamiento estructural, ya que de ello depende el buen diseño y construcción de las edificaciones. Esta investigación evaluó el comportamiento estructural utilizando ladrillos artesanales de concreto elaborados en las ladrilleras Aguilar y Lezama; comparando los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con lo que indica la Norma E.070 y verificando si estos cumplen. Así se logró tener un registro de datos de las propiedades físicas - mecánicas y de la resistencia a compresión axial - diagonal para las unidades de concreto de ambas ladrilleras.

1.5. ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación evaluó el comportamiento estructural de la albañilería con respecto a lo que indica la Norma E.070, utilizando ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en las ladrilleras Aguilar y Lezama de la ciudad de San Marcos.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales “Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, y se obtuvieron resultados de las propiedades físicas – mecánicas y de la resistencia a compresión axial - diagonal; a partir de los cuales se realizó la comparación con los valores indicados en la Norma E.070.

1.6. LIMITACIONES

Los resultados obtenidos de la evaluación del comportamiento estructural de la albañilería, con respecto a la Norma E.070, solo se utilizarán para las unidades de concreto de las ladrilleras Aguilar y Lezama de la ciudad de San Marcos.

1.7. OBJETIVOS

- Objetivo general

- ✓ Evaluar el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, respecto a la Norma E.070.

- Objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión axial (f'_m) y el módulo de elasticidad (E_m) en pilas.
- ✓ Determinar la resistencia al corte o compresión diagonal (v'_m) y el módulo de corte (G_m) en muretes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

A. Antecedentes internacionales

Astroza, M; Schmidt, A. 2004. Capacidad de deformación de muros de albañilería para distintos niveles de desempeño. Ciudad de México, México, UNAM.

La investigación concluye que la deformación en los muros aumenta con la presencia de una carga vertical para los estados límites de servicio-operacional. Las cargas verticales producen tracciones normales mayores que 0.4 MPa, siendo el aumento del 50% a más; además la esbeltez es el factor más importante en la capacidad de deformación del muro de albañilería, asociado sobre todo con los niveles de mayores daños.

Fernández, L; Marín, F; Varela, J; Vargas, G. 2009. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Mérida, México, UADY.

La investigación presenta los resultados del ensayo de muretes de mampostería expuestos a cargas de compresión diagonal. De los resultados de estos muretes se determinó que la resistencia a compresión diagonal de la mampostería depende de la adherencia bloque-mortero. La falla representativa para los muretes fue en la junta bloque-mortero, para otros casos la falla fue sobre la diagonal y en otros por deslizamiento sobre las juntas. Para entender estos tipos de falla, se desarrolló un modelo numérico utilizando el Método de los Elementos Finitos y se analizó la distribución de esfuerzos que se alcanzaron. Finalmente, se planteó un valor de diseño para la resistencia a compresión diagonal de 1.8 kg/cm² y se determinó que la relación promedio entre los módulos de corte y elasticidad es igual a 0.42.

Afanador, N; Guerrero, G; Monroy, R. 2012. Propiedades Físicas y Mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Ocaña, Colombia, UFPS.

Esta investigación concluye que la resistencia a la compresión de muros de ladrillos macizos cerámicos, presenta un alto grado de vulnerabilidad, comparado con la especificación de resistencia de 14 MPa para ladrillos macizos (NTC 4205). Además, los ladrillos producidos en Ocaña, tuvieron una succión promedio de 0.387 g/cm²/min., lo que indica que las unidades deberán tener un humedecimiento mínimo de 24 horas. La absorción promedio fue de 17.41%; dicho valor cumple para su utilización en muros

interiores, pero excede el valor máximo para muros exteriores, ya que no debe superar el 13%.

B. Antecedentes nacionales

San Bartolomé, A; Quiun, D. 2004. Propuesta normativa para el diseño sísmico de edificaciones de albañilería confinada. Lima, PUCP.

La investigación concluye que la falla por corte que se desarrolla en las edificaciones de mediana altura estructurada con muchos muros, debe tomarse con naturalidad. Su efecto no es negativo siempre y cuando se adopten precauciones para limitar los desplazamientos laterales inelásticos, proporcionando una adecuada densidad de muros y diseñando a las columnas de confinamiento como última línea resistente.

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

En esta investigación se realizaron ensayos con dos tipos de ladrillos, los cuales no cumplieron con las especificaciones dadas por el fabricante, sin embargo, calificaron como unidades aptas para la construcción de muros portantes (Norma E.070).

También concluye que los muros confinados son más rígidos al utilizar ladrillos de concreto, debido a que los orificios de estas unidades son más grandes, permitiendo el ingreso del mortero; además cabe decir que ambos muros bajan su rigidez de manera similar. Los muros con ladrillos de arcilla se fisuran menos, al término de la fase 7 del ensayo a carga lateral, siendo la máxima distorsión angular de 0.005, especificado por la Norma E.030. Esto implicaría un mayor gasto en la reparación posterior a un sismo.

La albañilería con ladrillos de concreto resulta ser económica, a pesar que las rendijas de estas unidades dejan pasar más mortero que las perforaciones del ladrillo de arcilla.

Floriano, A. 2014. Comportamiento estructural de albañilería confinada de bloques de concreto similares a la construcción tradicional de Haití. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP.

Esta investigación estudió el problema de la seguridad sísmica en las edificaciones del país centroamericano de Haití, cuyo sistema estructural es a base de muros de albañilería hechos con unidades artesanales de concreto de alveolos huecos. También realizó una evaluación de las mejoras al comportamiento del sistema constructivo tradicional haitiano mediante la utilización de unidades de concreto con sus alveolos rellenos. La investigación concluye que las resistencias obtenidas en los ensayos de laboratorio, tanto de pilas, como de muretes al 33 % y al 66 % de alveolos llenos, son menores a las indicadas en la Norma E.070.

C. Antecedentes locales

Cubas, C. 2017. Determinación de las propiedades físico - mecánicas de ladrillos de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cutervo. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC.

En esta investigación se utilizaron unidades de concreto de tres ladrilleras de la ciudad de Cutervo (L-01, L-02 Y L-03). Los resultados obtenidos de las propiedades físico-mecánicas fueron: Variación dimensional en el largo (0.07 %, 0.07 % y 0.16 %), en el ancho (0.11 %, 0.18 % y 0.13 %) y en el alto (5.05 %, 4.69 % y 5.15 %); alabeo 0.80 mm, 0.79 mm y 0.79 mm; absorción 9.77 %, 9.47 % y 9.28 %; resistencia a la compresión axial 52.44 kg/cm², 48.25 kg/cm² y 51.59 kg/cm² y succión de 26.19 g, 28.31 g y 26.65 g, respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que las unidades de L-01 y L-03 clasifican como ladrillo clase I, en cambio las unidades de L-02 no clasifican según la Norma E.070.

Gamboa, D. 2017. Determinación de la resistencia a compresión axial y resistencia al corte puro de la albañilería de ladrillos King Kong de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC.

La investigación concluye que la resistencia a compresión axial y resistencia a corte de la albañilería, calculada de los ensayos realizados (f'_m : 38.83 kg/cm² y v'_m 6.43 kg/cm²), es mayor que la resistencia teórica, para los ladrillos King Kong Artesanal

indicada en la Norma E.070 ($f'm: 35 \text{ kg/cm}^2$ y $v'm 5.1 \text{ kg/cm}^2$), por lo que se acepta su utilización en muros portantes en edificaciones de hasta 2 pisos (zona sísmica 2 y 3).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Albañilería o mampostería

Según la Norma E.070 (2006), es el material estructural conformado por unidades de albañilería asentadas con mortero o también por unidades integradas con concreto líquido.

Además, es un material con una resistencia a la compresión elevada, de naturaleza heterogénea y anisotrópica. Su resistencia a la tracción es baja y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero (Gallegos y Casabonne 2005).

2.2.2. Tipos de albañilería

Existen diferentes tipos de albañilería y de acuerdo a ello se puede clasificar de dos maneras: Por la función estructural y por la distribución del refuerzo.

2.2.2.1. Por la función estructural

De acuerdo a su función estructural la albañilería puede clasificarse en muros de albañilería no portante y muros de albañilería portante.

A. Muros no portantes

Son aquellos que no reciben una carga vertical, por ejemplo: Los parapetos, los cercos y los tabiques. Estos muros son diseñados principalmente para cargas perpendiculares a su plano, ya sea originadas por el viento, sismo u otras cargas.

Siendo un muro no portante un elemento no estructural, este tiene la característica de no aportar rigidez lateral al sistema principal; por consiguiente, tanto su construcción como su diseño se realizan de manera aislada y debe realizarse luego de haber diseñado por completo la edificación (San Bartolomé et al. 2011).

B. Muros portantes

Son utilizados como elementos estructurales de una determinada edificación. Están sujetos a todo tipo de acción interna o externa, ya sea contenida en su plano como

perpendicular a él, tanto vertical como lateral y tanto permanente como eventual (San Bartolomé et al. 2011).

Son muros diseñados y contruidos de tal manera que transmitan cargas horizontales y verticales de un nivel superior al nivel inferior o a la misma cimentación. Los muros portantes conforman la estructura de una construcción de albañilería y deben tener siempre continuidad vertical (Norma E.070 2006).

2.2.2.2. Por la distribución del refuerzo

De acuerdo a la distribución del refuerzo la albañilería puede clasificarse en muros no reforzados o de albañilería simple y muros reforzados (armados, laminares y confinados).

A. Muros no reforzados o de albañilería simple

Son aquellos que carecen de refuerzo; o que, si lo tienen, no cumplen con las especificaciones mínimas que debe tener un muro reforzado. De acuerdo a la Norma E.070, su uso está limitado a edificaciones de un solo piso; sin embargo, en muchas zonas del país existen edificios antiguos de albañilería no reforzada, contruidos sobre suelos de buena calidad y con una alta densidad de muros en sus dos direcciones (San Bartolomé et al. 2011).

B. Muros reforzados

Son aquellos muros de albañilería cuyo refuerzo cumple con lo que indica la Norma E.070. Según la disposición de su refuerzo, los muros se clasifican como: Muros armados, muros laminares y muros confinados (San Bartolomé et al. 2011).

2.2.3. Componentes de la albañilería

Son básicamente las unidades de albañilería (ladrillos) y el mortero.

2.2.3.1. Unidades de albañilería

Se refiere a los ladrillos y bloques elaborados de concreto, arcilla o de sílice-cal. Estas unidades son fabricadas de manera artesanal o industrial, y pueden ser sólidas o macizas, alveolares, huecas y tubulares. Estas unidades solo serán utilizadas luego de lograr su resistencia especificada y su estabilidad de volumen. En el caso de las

unidades curadas con agua, el plazo mínimo para su utilización es de 28 días, según la N.T.P. 399.602 (San Bartolomé et al. 2011).

A. Tipos de unidades de albañilería

Existen diferentes tipos de unidades de albañilería, las cuales son: Unidades sólidas o macizas, unidades huecas, unidades perforadas y unidades tubulares. Dicha tipificación está basada principalmente en el área neta y en las características de los alvéolos (Gallegos y Casabonne 2005).

a. Unidades sólidas o macizas

Son aquellas cuya sección transversal presenta un área igual o mayor que el 70 % del área bruta, en un determinado plano paralelo a su superficie de asiento. Son aquellas unidades que no tienen alvéolos o que los tienen hasta un límite determinado (Norma E.070 2006).

B. Clasificación para fines estructurales

De acuerdo a los fines estructurales, el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifica a las unidades de albañilería en cinco tipos:

- a. Tipo I:** Unidades cuya resistencia y durabilidad son muy bajas. Son idóneas para construcciones en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- b. Tipo II:** Unidades cuya resistencia y durabilidad son bajas. Son adecuadas para construcciones en condiciones de servicios moderados.
- c. Tipo III:** Unidades de resistencia y durabilidad media. Son adecuadas para construcciones de uso general.
- d. Tipo IV:** Unidades cuya resistencia y durabilidad son altas. Son adecuadas para construcciones en condiciones de servicio rigurosas.
- e. Tipo V:** Unidades cuya resistencia y durabilidad son muy altas. Son aptas para construcciones en condiciones de servicio especialmente rigurosas.

Tabla 1. 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)
Bloque P (1)	±4	±3	±2	4	4,9 (50)
Bloque NP (2)	±7	±6	±4	8	2,0 (20)

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

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

Fuente: Norma E.070 2006.

C. Limitaciones en su aplicación

De acuerdo a la Norma E.070 (2006), la aplicación y uso de las unidades de albañilería está condicionado a lo indicado en la Tabla 2. Las zonas sísmicas están indicadas en la Norma E.030 de diseño sismo-resistente.

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

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a 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
Alveolar	Si Celdas totalmente rellenas con grout	Si Celdas parcialmente rellenas con grout	Si Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueco	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta dos pisos

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

Fuente: Norma E.070 2006.

D. Fabricación de las unidades de albañilería

En la fabricación intervienen diversos materiales o materias primas, tales como: Arcilla, concreto y sílice-cal. Esta se hace mediante el moldeo, acompañado y asistido por algún método de compactación compatible con cada material (Gallegos y Casabonne 2005).

a. Tipos de proceso de fabricación

Barranzuela (2014) señala que la producción de unidades de albañilería se lleva a cabo de tres formas (N.T.P).

- **Artisanal:** Es el ladrillo fabricado mediante procedimientos mayormente manuales. Su amasado es hecho a mano y se caracteriza por la variabilidad de unidad a unidad.
- **Semi industrial:** Ladrillo fabricado mediante procedimientos manuales. Su proceso de moldeo se realiza con maquinaria elemental y se caracteriza por tener una superficie lisa.
- **Industrial:** Es el ladrillo producido con maquinaria que amasa, moldea y extruye la pasta de concreto. Su característica principal es la uniformidad.

b. Unidades de concreto

Son ladrillos o bloques que se pueden manipular manualmente. Están diseñados para la albañilería confinada y armada, con un terminado de tarrajeo o también con acabado caravista. Su resistencia depende del uso al que se destine y de acuerdo a la dosificación que se emplee (cemento-arena-confitillo-agua) (Arrieta y Peñaherrera 2001).

Estas unidades pueden ser artesanales (ladrillos) o industriales (ladrillos y bloques), con un tono gris, 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 (Gallegos y Casabonne 2005).

- **Tecnología del concreto vibrado para la fabricación de unidades de albañilería:**

La vibración es el método que consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas y con una alta frecuencia. Es utilizada para obtener un concreto de buenas características al momento de producir la unidad de albañilería, tales como la compacidad, la resistencia mecánica y un correcto acabado. Con la vibración, la masa de concreto se encuentra en un estado suelto (consistencia), teniendo un proceso de acomodado y asentando uniforme, reduciendo el aire atrapado (Arrieta y Peñaherrera 2001).

- **Proceso de fabricación:**

- ✓ **Dosificación:** Término utilizado para definir las proporciones de los agregados (cemento, arena, confitillo y agua) que conforman la mezcla para la fabricación de las unidades de concreto. La dosificación de los materiales se hace por volumen, utilizando latas, cajones de madera o carretillas. (Arrieta y Peñaherrera 2001).
- ✓ **Mezclado:** Arrieta y Peñaherrera (2001) señalan que se pueden realizar dos tipos de mezclado:
 - **Mezclado manual:** Con los materiales en el lugar adecuado, es decir, arena, agregado grueso y cemento, se realizará el mezclado en seco. Los materiales deberán estar bien mezclados (dar varias vueltas a los mismos). Luego del mezclado se agrega el agua, cubriendo el material seco de los costados, para finalmente mezclar uniformemente todo.
 - **Mezclado mecánico:** Otra forma de mezclar los materiales y por cierto la más adecuada es utilizando una mezcladora, ya sea tipo trompo o de tolva. Se inicia mezclando en seco los agregados y el cemento, hasta lograr obtener una mezcla uniforme; luego se añade agua y se continúa el proceso de 3 a 6 minutos. De tener agregados muy absorbentes, se debe agregar el agua necesaria antes de añadir el cemento; finalmente se agrega el cemento, continuando dicho proceso de 2 a 3 minutos.

- ✓ **Moldeado:** En la mesa vibradora se procede a vaciar la mezcla dentro de un molde metálico; el llenado se realiza por capas y con la ayuda de una varilla que acomoda la masa. El vibrado se ejecuta hasta que aparezca una película de agua sobre la superficie, luego se retira el molde de la mesa y se lleva al área destinada para el fraguado. La unidad se desmolda en forma vertical y con mucho cuidado (Arrieta y Peñaherrera 2001).
- ✓ **Fraguado:** Después de fabricadas, las unidades de concreto deben permanecer en un lugar seguro, tal que se les garantice protección de los vientos y del sol, con el fin de que puedan fraguar sin secarse y así evitar que puedan tener un secado prematuro que reduciría su resistencia final. El periodo de fraguado está entre 4 a 8 horas, sin embargo, se recomienda dejar las unidades de un día para otro. Transcurrido ese tiempo, las unidades deben ser retiradas y colocadas en rumas para el curado respectivo (Arrieta y Peñaherrera 2001).
- ✓ **Curado:** Proceso que consiste en mantener húmedas las unidades de concreto, permitiendo que la reacción química del cemento continúe, con el fin de obtener una resistencia óptima y buena calidad. Las unidades colocadas en rumas de máximo cuatro ladrillos y una separación horizontal adecuada, se humedecen al menos tres veces al día durante una semana y no deben ser utilizadas antes de los 28 días de fabricación. Para realizar correctamente el curado se puede cubrir las unidades con costales o plásticos húmedos, evitando así que el agua se evapore fácilmente. Lo más recomendable para el proceso de curado es hacer un entarimado de madera que permita utilizar de manera eficiente el espacio y al mismo tiempo evitar daños en los ladrillos (Arrieta y Peñaherrera 2001).
- ✓ **Secado y almacenamiento:** El espacio destinado para el almacenamiento de las unidades de concreto debe ser totalmente cubierto, para evitar que se humedezcan con lluvia antes de los 28 días (período de endurecimiento). De no disponer de un techo o cubierta, se debe proteger con plástico u otros. El lugar debe ser suficiente para mantener la producción de aproximadamente dos semanas y permitir el secado lento de las unidades (Arrieta y Peñaherrera 2001).

- **Producción de ladrillos de concreto a mediana escala**

La producción de ladrillos de concreto empieza por tener una mesa vibradora; estos equipos constan de una plataforma metálica, debajo de la cual funciona el motor que transmite la vibración a través de varios accesorios (resortes, poleas, correas, etc). Esta mesa por su poco peso, permite su transporte y manipuleo, pudiendo ser incluso llevada a obra (Arrieta y Peñaherrera 2001).

El tamaño de las mesas es variable, depende de las dimensiones de las unidades de concreto a vibrar. La potencia de los motores y accesorios debajo de la mesa, dependen del peso del molde, peso de la masa del concreto y de su propio peso; distribuyendo el vibrado de manera uniforme a lo largo de toda la plataforma (Arrieta y Peñaherrera 2001).

Sobre la mesa vibradora es necesario la utilización del molde metálico. Los moldes tienen un mecanismo constituido por una platina adosada a unas asas rotatorias que sirve para la expulsión. La caja del molde presenta en la base dimensiones ligeramente mayores que en la parte superior, lo cual es de mucha utilidad a la hora del desmoldaje. Luego de cada jornada, los moldes deben limpiarse con petróleo (Arrieta y Peñaherrera 2001).

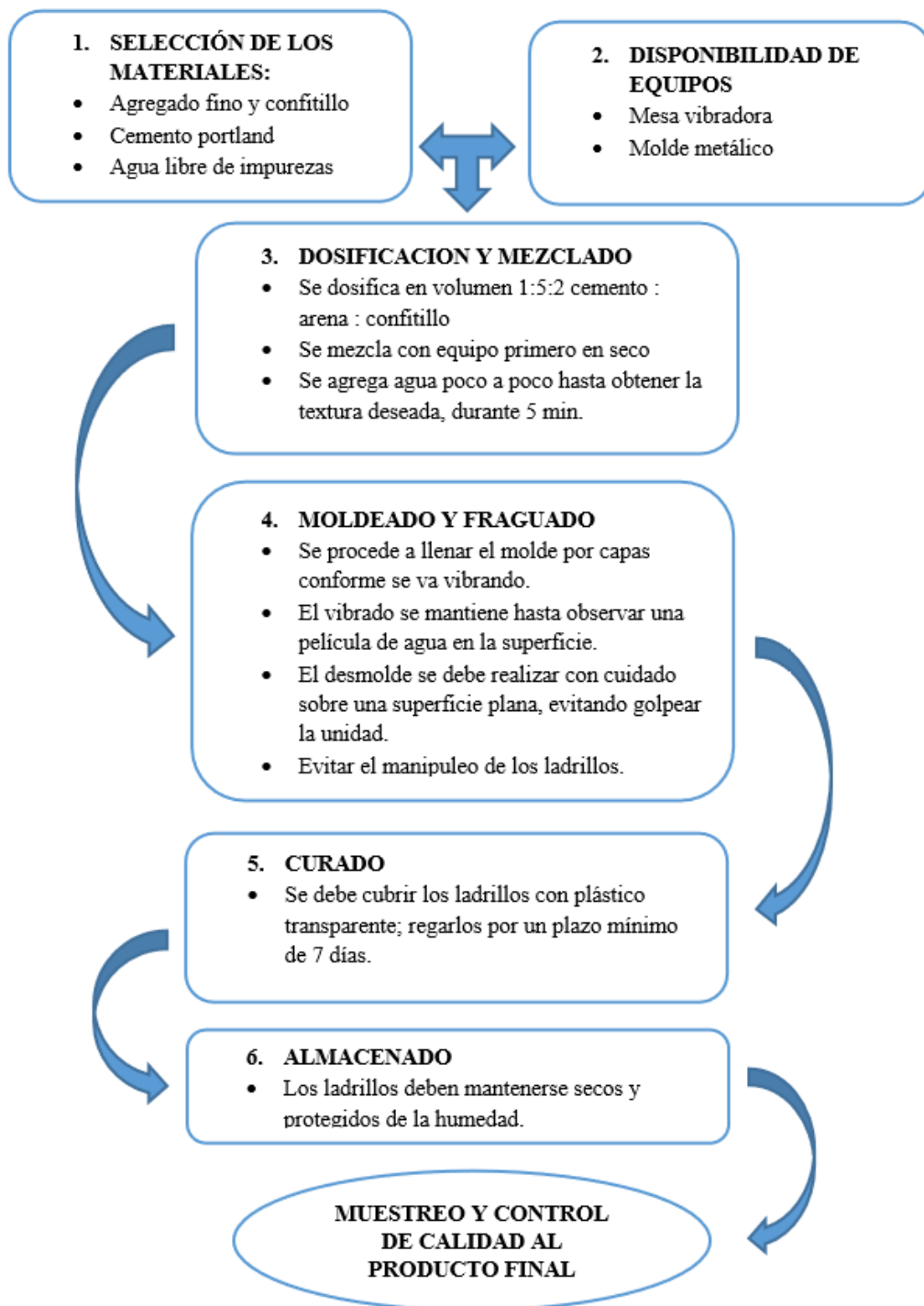


Figura 1. Proceso general de producción de ladrillos de concreto. Fuente: Arrieta y Peñaherrera 2001.

E. Propiedades y ensayos de clasificación para unidades de concreto

a. Propiedades físicas

Son aquellas que están ligadas a la resistencia de la albañilería y son:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la tracción medida como tracción por flexión.
- Variabilidad dimensional.
- Alabeo.
- Succión.
- Textura en la cara de asiento.

✓ Resistencia a la compresión

Se refiere a la propiedad más importante de la unidad de albañilería. Esta propiedad define en la unidad el nivel de calidad estructural y el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier causa de daño similar (Enciso 2012).

Entre los principales componentes de la resistencia a la compresión se tiene: La resistencia a la compresión de la unidad, la geometría de la unidad, la calidad de mortero empleado para el asentado y la calidad de mano de obra (Enciso 2012).

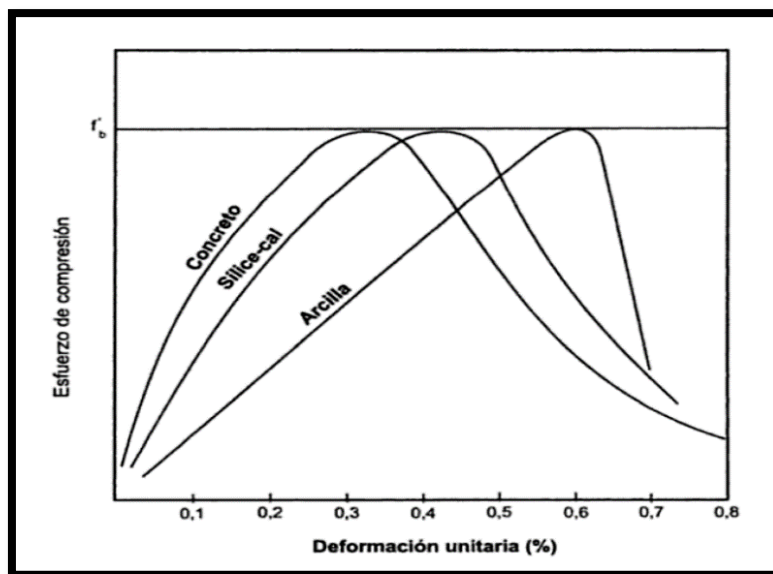


Gráfico 1. Curvas δ vs ϵ de unidades ensayadas en compresión. **Fuente:** Gallegos y Casabonne 2005.

La N.T.P. 399.604 (2013), dispone que, de seis unidades muestreadas, tres serán ensayadas en compresión.

✓ **Resistencia a la tracción**

Esta propiedad sólo constituye una medida de la calidad del ladrillo. Su evaluación se realiza cuando se tiene un alabeo alto que puede conducir al ladrillo a una falla de tracción por flexión, pero también se realiza cuando se tiene incertidumbre de utilizar ladrillo tipo IV o V. De aquí se obtiene el módulo de ruptura para los diferentes tipos de ladrillo (tabla 3) (San Bartolomé et al. 2011).

✓ **Variabilidad dimensional**

Es la propiedad que define la altura en las hiladas. Las dimensiones de las unidades se expresan como largo, ancho y altura (L x A x H). Tanto el largo como el ancho hacen referencia a la superficie de asiento y las dimensiones comerciales. La determinación de la variación de dimensiones incluye la definición de las dimensiones promedio, es así que, a mayores variaciones, se requerirá aumentar el espesor de junta por encima de lo necesario (por adhesión), generando una albañilería de menor resistencia a compresión (Gallegos y Casabonne 2005).

✓ **Alabeos**

Es la propiedad que determina la convexidad o concavidad en la unidad de albañilería. Un alabeo elevado en las unidades conduce a un mayor espesor en las juntas, disminuyendo el área de contacto con el mortero y formando vacíos en varias zonas, pudiendo ocurrir fallas de tracción por flexión. La prueba de alabeo se realiza colocando la superficie de asiento del ladrillo sobre una mesa plana, para luego con una regla graduada conectar los extremos diagonalmente opuestos y finalmente con una cuña metálica medir todos los alabeos que se forman. El resultado promedio se expresará en milímetros (San Bartolomé et al. 2011).

✓ **Succión**

Propiedad que mide la rapidez del agua cuando esta se adhiere a la cara de asiento de la unidad de albañilería. Es la principal característica para definir la relación mortero-unidad en la inter-fase de contacto y por tanto la resistencia a la tracción. La Norma E.070 indica que la succión de las unidades debe comprender entre los 10 y 20 gr/200 cm²-min; ya que, si la unidad tiene demasiada succión, al momento de colocar el mortero esta absorberá el agua de él, haciendo que este se endurezca e impidiendo el contacto con la posterior unidad (Enciso 2012).

Si las succiones son mayores a 20 gramos por minuto en un área de 200 cm², es necesario que los ladrillos se saturen en agua antes de su uso. Los valores permisibles para los diferentes tipos de ladrillos se muestran en la tabla 3 (Villegas 2008).

Tabla 3. Módulo de ruptura (valores mínimos aproximados) y succión

TIPO DE LADRILLO	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm²)	SUCCIÓN PROMEDIO (gr/200cm²)
I	6	61
II	7	66
III	8	53
IV	9	No se obtuvo valores
V	10	38
NOTA 1: Se recomienda el ensayo de módulo de ruptura cuando se trata de ladrillos tipo IV y V.		
NOTA 2: El ensayo de succión no está normado como requisito, se incluye para aquellos ladrillos que puedan requerir el tratamiento de saturado con agua.		

Fuente: N.T.P. 331.017.

b. Propiedades mecánicas

Son aquellas que están relacionadas con la durabilidad de la albañilería y son:

- Absorción.
- Densidad.
- Resistencia a la Compresión.

❖ **Absorción**

Según Arrieta y Peñaherrera (2001), es el contenido de humedad total interna de la unidad de concreto, que está en la condición de saturado superficialmente seco.

Villegas (2008) señala a esta propiedad como una medida de impermeabilidad. Los valores máximos de absorción se utilizan cuando las condiciones de uso del ladrillo indican constante contacto con agua o con el terreno.

Según la N.T.P. 339.604, la absorción está relacionada con la adherencia de la unidad y el mortero, con la permeabilidad de la unidad y finalmente con la resistencia que desarrolla. Esta propiedad se medirá como el paso del agua, expresado en porcentaje del peso seco absorbido por la unidad sumergida.

❖ **Densidad**

Es la propiedad que relaciona el peso de la unidad de albañilería secada al horno entre el volumen de la misma. La densidad también se relaciona directamente con la resistencia a compresión, siendo necesario para su evaluación, utilizar el principio de Arquímedes (San Bartolomé et al. 2011).

F. Aceptación de las unidades de albañilería de concreto (Norma E.070)

- a. Si la muestra presenta más de 20 % de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se deberá ensayar otra muestra y de mantenerse la dispersión, se desestimarán el lote.
- b. El espesor mínimo de las caras laterales en la superficie de asentado será 25 mm para el bloque clase P y 12 mm para el bloque clase NP.
- c. El bloque de concreto clase P, tendrá una absorción no mayor que 12 %. El bloque de concreto clase NP, tendrá una absorción no mayor que 15 %.
- d. Las unidades de albañilería no contendrán materias extrañas en su interior o en sus superficies, tales como nódulos, conchuelas o guijarros.
- e. Las unidades de albañilería no tendrán resquebrajaduras, grietas u otros defectos similares que bajen su resistencia o durabilidad.
- f. Las unidades de albañilería deben estar libres de elementos salitrosos u otro similar.

2.2.3.2. El mortero

Está conformado por una mezcla de agregado fino y aglomerantes, a los cuales se añade determinadas cantidades de agua con la finalidad de obtener una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se debe tener en cuenta lo especificado en las N.T.P. 399.607 y 399.610. (Norma E.070 2006)

Según San Bartolomé et al. (2011), la función del mortero en la albañilería es adherir las unidades, sellando las juntas para evitar la penetración de la humedad y del aire, además de corregir irregularidades.

A. Componentes del mortero

a. Cemento

Para la elaboración de morteros se utiliza básicamente el cemento Portland tipo I, el cemento Portland tipo II y excepcionalmente el tipo III, además de los cementos adicionados (sobre todo el IP). Cuando se utilice cemento puzolánico IP, es recomendable preparar una mezcla más rica (bajando 1/2 de volumen al agregado fino), logrando así la misma resistencia que con un cemento tipo I. La resistencia estándar de los cementos Portland oscila entre 22 y 28 MPA a los 28 días (Gallegos y Casabonne 2005).

Existen diversos tipos de cemento y los presentamos en tablas 4, 5 y 6:

Tabla 4. Tipos y características de los cementos Portland

TIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS OPCIONALES
I	Uso general.	1, 5
II	Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos.	1, 4, 5
III	Alta resistencia inicial.	1, 2, 3, 5
IV	Bajo calor de hidratación.	5
V	Alta resistencia a los sulfatos.	5, 6
Características opcionales: <ol style="list-style-type: none"> 1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA. 2. Resistencia moderada a los sulfatos: C₃A máximo, 8%. 3. Alta resistencia a los sulfatos: C₃A máximo, 5%. 4. Calor de hidratación moderado: Calor máximo de 290 kJ/kg (70 cal/g) a los 7 días, o la suma de C₃S y C₃A, máximo 58%. 5. Álcali bajo: Máximo de 0.60%, expresado como Na₂O equivalente. 6. El límite de resistencia alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de expansión de barras de mortero. 		

Fuente: N.T.P. 334.009.

Tabla 5. Tipos y aplicaciones de los cementos Portland adicionados

CEMENTO	TIPO	APLICACIONES
Portland	I	Uso general.
Portland puzolánico	IP, I(PM)	Uso general.
Portland de escoria	IS, I(SM)	Uso general.
Portland compuesto	ICo	Uso general.
Cementos adicionados y propiedades especiales: <ol style="list-style-type: none"> 1. Moderada resistencia a los sulfatos (MS). 2. Moderado calor de hidratación (MH). 3. Baja reactividad con agregados álcali-reactivos. 		

Fuente: Biondi 2015.

Tabla 6. Otros tipos y aplicaciones de los cementos Portland adicionados

CEMENTO	APLICACIONES
Tipo GU	Uso general.
Tipo HE	Alta resistencia inicial.
Tipo MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
Tipo HS	Alta resistencia a los sulfatos.
Tipo MH	Moderado calor de hidratación.
Tipo LH	Bajo calor de hidratación.

Fuente: Biondi 2015.

b. Agregado fino

Sus partículas tienen un tamaño máximo de 5 mm y se utiliza en la preparación de la mezcla para la elaboración de morteros. Para el mortero se utilizará arena gruesa, libre de sales y materia orgánica, con las características indicadas en la tabla 7. Se aceptarán otras granulometrías de arena, siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes alcancen resistencias tan iguales como las especificadas en los planos (Norma E.070 2006).

- **Granulometría de la arena**

Se sigue el procedimiento indicado en la N.T.P. 400.012. El módulo de finura debe encontrarse entre 1.60 a 2.50 y las partículas quebradizas son como máximo de 1% en peso, indicados en la Norma E.070. La Norma indica además que los agregados para morteros de albañilería deben estar gradados dentro de los límites indicados en la tabla 7 (Villegas 2008).

Tabla 7. 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: Norma E.070 2006.

La Norma E.070 (2006) también nos indica que no debe quedar retenido más del 50 % de agregado fino entre dos mallas sucesivas.

- **Límites permisibles de las sustancias dañinas**

No se excederán los límites especificados en la tabla 8. Las impurezas orgánicas son compuestos nocivos que afectan el agregado fino y por ende a los concretos y morteros. Además, la Norma E.070 recomienda un máximo de 1 % por peso de partículas quebradizas, partículas friables o terrones de arcilla en la arena para su utilización (Villegas 2008).

Tabla 8. Límites de sustancias dañinas, ASTM C-33

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO
Partículas quebradizas. Máximo en (%).	1 %
Material más fino que la malla N° 200. Máximo en (%).	5 %
Carbón y lignito. Máximo en (%).	0,5 %
Materia orgánica.	El agregado fino no debe presentar impurezas orgánicas.

Fuente: Norma E.070 2006.

c. Agua para el mortero

La Norma E.070 (2006) indica que el agua debe ser potable y libre de sustancias álcalis, ácidos y materia orgánica.

B. Propiedades del mortero

a. Consistencia

Según San Bartolomé et al. (2011), es la capacidad que tiene la mezcla de fluir y sobre todo de ser trabajable.

b. Retentividad

Según San Bartolomé et al. (2011), es la capacidad que tiene la mezcla para mantener su consistencia, o seguir siendo trabajable después de un pequeño espacio de tiempo.

C. Tipos de mortero

Para fines estructurales los morteros se clasifican en: Tipo P, utilizado en la construcción de muros portantes; y NP, empleado en los muros no portantes. Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas indicadas en la Tabla 9 (Norma E.070 2006).

Tabla 9. Tipos de mortero

COMPONENTES				USOS
Tipo	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros portantes.
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros portantes.
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes.

Fuente: Norma E.070 2006.

Se pueden emplear otras composiciones de mortero, con cemento de albañilería, morteros premezclados o industriales, siempre que los ensayos de pilas y muretes, alcancen resistencias iguales o mayores a las indicadas en los planos. Respecto a la resistencia del mortero de albañilería se puede tener como referencia los valores indicados en la tabla 10 (Norma E.070 2006).

Tabla 10. Influencia de la cal en la resistencia del mortero

COMPONENTES			RESISTENCIA (Mpa)
Cemento	Cal	Arena	
1	0	4	17,5
1	1	4	6,5
0	1	4	0,4

Fuente: Gallegos y Casabonne 2005.

Si no se tiene cal hidratada, se puede elaborar morteros sin cal, respetando siempre las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 10.

También es necesario señalar que la Norma ASTM C-270 indica 2 tipos de mortero (M y S) para la construcción de muros portantes; para este caso el volumen de arena está comprendido entre 2/4 y 3 veces la suma de los volúmenes de los aglomerantes, cemento y cal. De acuerdo a la tabla 11:

Tabla 11. Tipos de mortero, ASTM-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: Norma ASTM-270.

D. Ensayo de compresión para morteros

El ensayo se hace a los 28 días en una máquina de compresión. Los testigos pueden ser cubos de 5 cm de lado, cilindros de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura o prismas de base cuadrada en los que la altura es el doble del lado. La resistencia a compresión del mortero y la unidad de albañilería deben ser semejantes, a fin de evitar la falla por desplazamiento y tener homogeneidad en la construcción (San Bartolomé et al. 2011).

Cabe señalar también, que de acuerdo a la N.T.P. 399.610, escogemos la resistencia a la compresión promedio mínima a los 28 días de los morteros para muros portantes.

Tabla 12. Especificaciones por propiedades

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión promedio a los 28 días, min. Mpa (lb/pulg ²)	Retención de agua min, %	Contenido de aire, máx % B	Índice de agregado (medido en la condición húmeda suelta)
Cemento - cal	M	17.2 (2500)	75	12	
	S	12.4 (1800)	75	12	
	N	5.2 (750)	75	14 ^C	
	O	2.4 (350)	75	14 ^C	
Mortero Cemento	M	17.2 (2500)	75	12	No menos que 2 ¼ y no más que 3 ½ veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementosos
	S	12.4 (1800)	75	12	
	N	5.2 (750)	75	14 ^C	
	O	2.4 (350)	75	14 ^C	
Cemento de albañilería	M	17.2 (2500)	75	18	
	S	12.4 (1800)	75	18	
	N	5.2 (750)	75	20 ^D	
	O	2.4 (350)	75	20 ^D	

Fuente: N.T.P. 399.610.

2.2.4. Propiedades y ensayos de la albañilería simple

Las resistencias a compresión y corte son las que definen el comportamiento estructural en la albañilería ante la acción de sollicitaciones de carga. Con la finalidad de determinar estas resistencias se realizan diversos ensayos en especímenes de prueba, cuyos resultados constituyen la base del conocimiento estructural del material. El comportamiento de los especímenes sometidos a cargas, es el producto de la acción heterogénea de los componentes de la albañilería (la unidad con el mortero) (Gallegos y Casabonne 2005).

2.2.4.1. Resistencia a la compresión de prismas de ladrillo

Según la Norma E.070 (2006), la resistencia de la albañilería a compresión se determina de forma empírica, es decir, recurriendo a registros históricos o tablas de resistencia de las unidades y a través de ensayos de prismas.

La resistencia a compresión de la albañilería se obtendrá de ensayar prismas de unidades asentadas una sobre otra. La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependerán si la albañilería es de ladrillos o de bloques. En el caso de ladrillos, la relación ancho-alto del prisma está entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30 cm. Es necesario también decir que los prismas no se curan, solo se protegen con una tela húmeda durante 24 horas y luego se colocan bajo techo hasta ser ensayados. El ensayo debe hacerse a los 28 días, sin embargo, puede realizarse antes, estableciendo la relación entre las resistencias a los 7 y 28 días (San Bartolomé et al. 2011).

Tabla 13. Incremento de $f'm$ y $v'm$ por edad

Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla.	1,15	1,05
	Bloques de concreto.	1,25	1,05
Pilas	Ladrillos de arcilla y bloques de concreto.	1,10	1,00

Fuente: Norma E.070 2006.

A. Ensayo de compresión de pilas

Las pilas de albañilería son prismas construidos por dos o más hiladas de unidades (ladrillos o bloques) asentadas una sobre otra con mortero. El ensayo de compresión en las pilas de la albañilería sirve para determinar la resistencia a compresión axial ($f'm$) referida al área bruta de la sección transversal. También se puede registrar la deformación axial en la pila, con ayuda de un deformímetro, para luego determinar el módulo de elasticidad de la albañilería (E_m) (Gallegos y Casabonne 2005).

a. Mecanismo de falla

Las características observadas en los ensayos de prismas de ladrillo a compresión son las siguientes:

- Las grietas verticales en las unidades se presentan a partir de aproximadamente el 70 % de la carga última.
- Cuando las grietas verticales son sustantivas, aparece la carga máxima última.
- El esfuerzo y la deformación unitaria del prisma muestra valores intermedios, que corresponden al ladrillo y al mortero que lo conforman.

Los hechos que se producen en el mecanismo de falla hacen deducir que el agrietamiento vertical de las unidades está relacionado con la deformación lateral del mortero (Gallegos y Casabonne 2005).

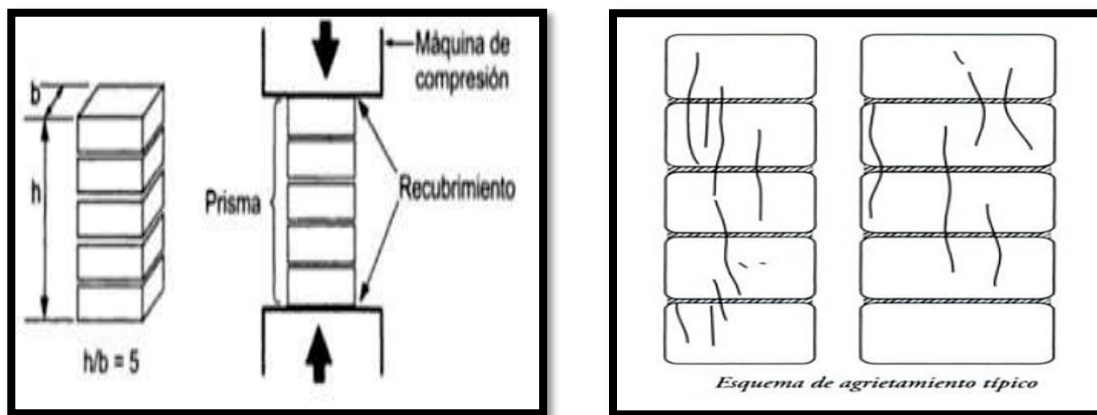


Figura 2. Ensayo y agrietamiento típico en pilas a compresión. **Fuente:** Gallegos y Casabonne 2005.

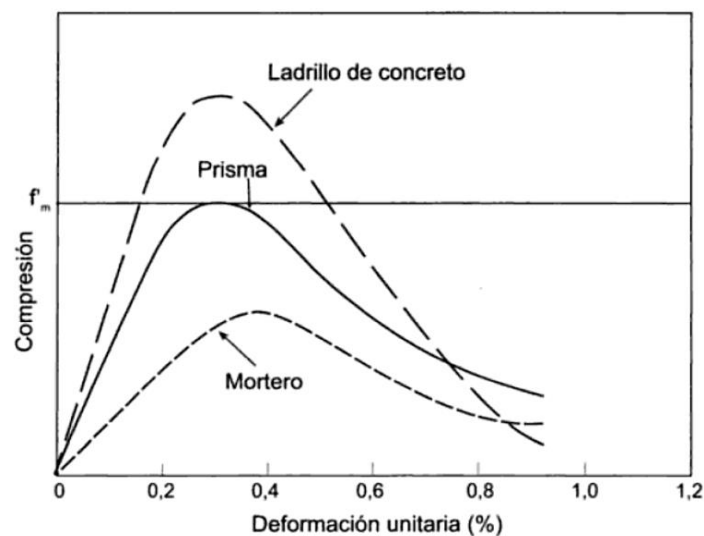


Gráfico 2. Curvas δ vs ϵ para pilas ensayadas con ladrillos de concreto. **Fuente:** Gallegos y Casabonne 2005.

b. Esbeltez en pilas de albañilería

Es la relación que existe entre la altura de la pila y su espesor. Este valor está comprendido entre 2 y 5, sin embargo, los valores más representativos están entre 4 y 5. En pilas pequeñas, los valores de la resistencia a compresión son mayores en comparación con las pilas esbeltas, debido a la mayor restricción al desplazamiento lateral inducida por los cabezales de la máquina de ensayo. Por esta razón, la N.T.P. 399.605 y la Norma E.070 proporcionan factores de corrección por esbeltez, aunque estos difieren entre sí. Se recomienda que las pilas se construyan de por lo menos 3 hiladas (San Bartolomé et al. 2011).

Tabla 14. Factor de corrección de altura a espesores para resistencia a compresión

hb/tp^A	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

hb/tp^A: Relación de altura y la menor dimensión lateral del prisma.

Fuente: N.T.P. 399.605 2013.

Tabla 15. Factores de corrección *f_m* por esbeltez

Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor de corrección	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: Norma E.070 2006.

c. Técnicas de ensayo

Las pilas deben ensayarse en una máquina a compresión universal. El ensayo se realiza con una velocidad uniforme, tratando de no producir impactos y su duración está comprendida entre 3 y 4 minutos. Si hay la posibilidad de medir el desplazamiento entre los cabezales de la máquina, se puede optar por una velocidad de 1mm/min. El resultado del ensayo se obtiene dividiendo la carga última entre el área del espécimen de prueba (San Bartolomé et al. 2011).

d. Módulo de elasticidad (Em)

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria, para su cálculo es necesario determinar las deformaciones que se generan al incrementar la carga, para

ello se hace indispensable la instrumentación con equipos que nos permitan captar estas deformaciones (San Bartolomé et al. 2011).

$$E_m = \frac{\Delta\delta}{\Delta\varepsilon} \dots (1)$$

La N.T.P. 399.605 (2013) señala que para calcular el módulo de la elasticidad se trabaja con la parte más lineal de la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria y se elimina la porción inicial que contempla el reacomodo de los instrumentos.

2.2.4.2. Resistencia al corte

Cuando los muros son cargados coplanarmente, es posible generar la falla por cizalle en la junta. La determinación de la resistencia al corte se hace mediante métodos indirectos. Por ejemplo, aplicando fuerzas de corte al espécimen para ocasionar fallas de tracción diagonal, o aplicando compresiones diametrales que ocasionan tracciones indirectas. La determinación de la resistencia a tracción por flexión o módulo de ruptura se hace mediante ensayos directos de flexión (Gallegos y Casabonne 2005).

A. Ensayo de corte o tracción diagonal

Es el ensayo más utilizado para determinar la tracción diagonal; esto es por la similitud de la forma de falla de ciertos muros de edificaciones ante acciones sísmicas. El espécimen estándar es un murete cuadrado cuyo lado debe medir 60 centímetros como mínimo. El murete se hace de la albañilería cuyas características se quiere determinar y del espesor a investigar (Gallegos y Casabonne 2005).

a. Mecanismo de falla

El modo de falla del espécimen es normalmente por tracción diagonal. La falla ocurre de manera frágil al producirse la primera grieta. Cuando las unidades son de baja resistencia, o también perforadas o huecas, se puede producir una falla por aplastamiento, causada por la compresión diagonal, esta falla tiende a ser de características explosivas (Gallegos y Casabonne 2005).

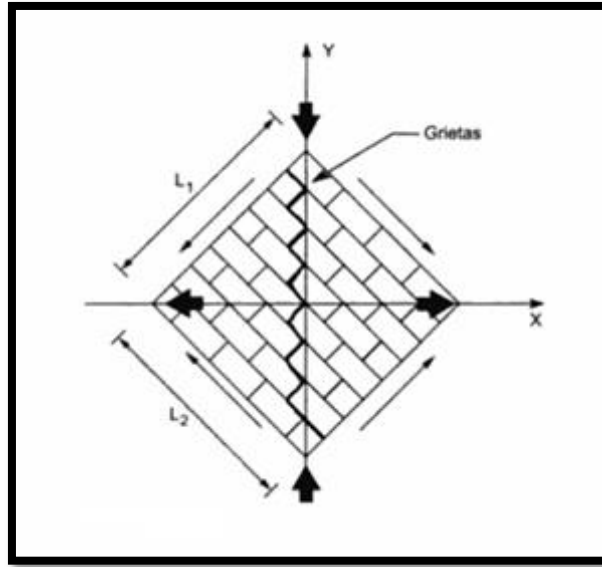


Figura 3. Ensayo de corte a compresión diagonal. **Fuente:** Gallegos y Casabonne 2005.

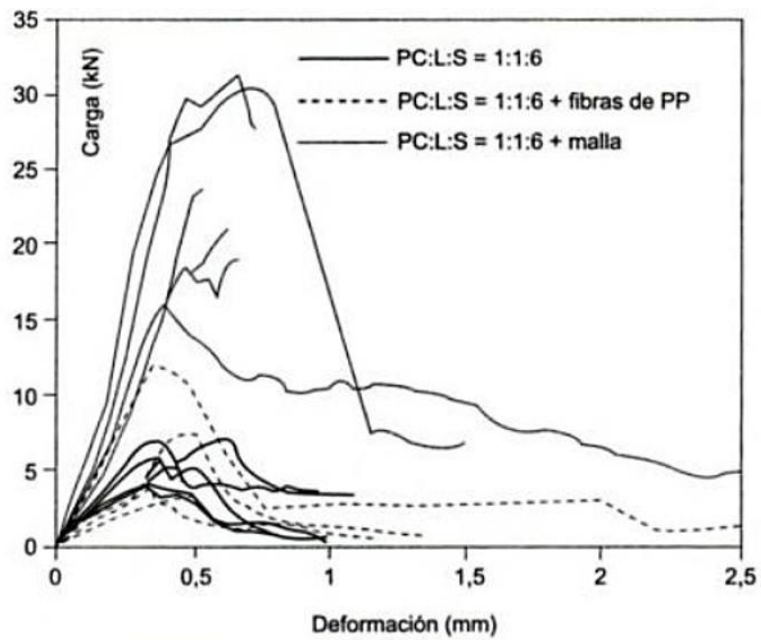


Gráfico 3. Gráfico compresión diagonal vs deformaciones verticales globales. **Fuente:** Gallegos y Casabonne 2005.

b. Tipos de falla

Según Fernández et al. (2009), las fallas típicas de los muretes de albañilería sujetos a compresión diagonal pueden ser de tres tipos:

- **Falla por tracción diagonal en bloques**

Esta falla tiene una trayectoria recta. Las unidades de albañilería son atravesadas por una grieta diagonal.

- **Falla por tracción diagonal en juntas**

Presenta una trayectoria de forma escalonada hacia el centro del murete. Se produce por la falla de adherencia entre la unidad y el mortero. También se le conoce como falla escalonada.

- **Falla por deslizamiento**

Falla que ocurre entre el mortero y las unidades de albañilería, sobre todo en una misma junta horizontal, produciéndose el desprendimiento de esta.

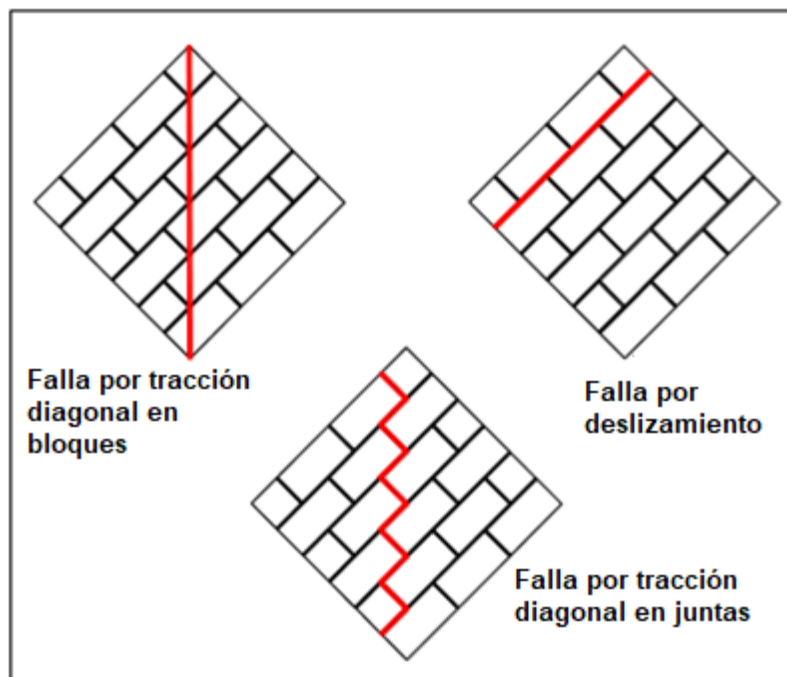


Figura 4. Tipos de fallas en muretes de albañilería sujetos a compresión diagonal. **Fuente:** Fernández et al. 2009.

c. Técnicas de ensayo

El ensayo de compresión diagonal se realiza según lo indicado en la N.T.P. 399.621 (2013), en mínimo tres muretes iguales, utilizando la misma unidad de albañilería, mortero y mano de obra.

- Primero se debe colocar las escuadras de carga, superior e inferior, luego colocar y centrar el espécimen y plomar.
- Se procede a aplicar la carga en forma continua hasta alcanzar la carga ultima; la carga se puede aplicar a cualquier velocidad hasta la mitad del valor máximo esperado, luego de ello se ajustarán los controles del equipo de manera que el resto de la carga se aplique a una velocidad uniforme de 1 tonelada por minuto, o a una velocidad tal que la carga máxima se alcance en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.
- Se deben obtener por lo menos 10 lecturas de deformación, con la ayuda de los deformímetros, para posteriormente determinar la curva esfuerzo vs deformación unitaria. Tales lecturas deben hacerse en lo posible para cargas cercanas a la última.

d. Módulo de corte (Gm)

Para hallar el módulo de corte de la albañilería (Gm), es necesario instrumentar una cara de los muretes con instrumentos que midan la deformación en las diagonales.

Entonces, iniciamos determinando la deformación angular con la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \dots (2)$$

Luego, el módulo de corte o rigidez se calcula de la siguiente ecuación:

$$Gm = \frac{\Delta u_m}{\Delta \gamma} \dots (3)$$

Donde:

γ = Deformación angular mm/mm

ΔH = Acortamiento horizontal, en mm

ΔV = Acortamiento vertical, en mm

g = Longitud de medición de deformaciones horizontal y vertical en mm

El módulo de corte (G_m) se calcula del gráfico esfuerzo cortante vs deformación angular. Según la N.T.P. 399.621, está comprendido entre el 10% y 50% del esfuerzo máximo de compresión diagonal. Además, se sabe que G_m es la pendiente originada por dichos valores calculados.

2.2.4.3. Resistencia de primas de albañilería por la Norma E.070

A. La resistencia de la albañilería a compresión axial ($f'm$) y diagonal ($v'm$) se determinará de manera empírica o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la zona sísmica donde se ubique la construcción y a su importancia, según se indica en la tabla 16:

Tabla 16. Métodos para determinar $f'm$ y $v'm$

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA	EDIFICIOS DE 1 A 2 PISOS			EDIFICIOS DE 3 A 5 PISOS			EDIFICIOS DE MÁS DE 5 PISOS		
	Zona Sísmica			Zona Sísmica			Zona Sísmica		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
$(f'm)$	A	A	A	B	B	A	B	B	B
$(v'm)$	A	A	A	B	A	A	B	B	A

Fuente: Norma E.070 2006.

Donde A es obtenida de manera empírica conociendo la calidad del ladrillo y del mortero. B es determinada de los ensayos de compresión axial de pilas y de compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en las NTP 399.605 y 399.621.

B. La resistencia característica $f'm$ en pilas y $v'm$ en muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar.

C. El valor de $v'm$ para diseño no será mayor de: $0.319 \sqrt{f'm}$ en MPa y $\sqrt{f'm}$ en kg/cm^2 .

D. Se podrá emplear los valores mostrados en la tabla 17, en caso no se realice ensayos de prismas. Las pilas y muretes construidos serán con mortero 1:4 (para unidad de arcilla) y 1:1/2:4 (para unidad de concreto o sílice-cal), para otras unidades con otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos correspondientes.

Tabla 17. Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm²)

Materia prima	Denominación	Unidad f'_b	Pilas f_m	Muretes ν_m
Arcilla	King kong artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King kong industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto bloque tipo P (*)		4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
		6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

(*) Utilizados para la construcción de muros armados.

(**) El valor de f'_b se proporciona sobre área bruta en unidades vacías (sin grout), mientras que las celdas de las pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de $f'_c = 13,72$ Mpa (140 kg/cm²).

Fuente: Norma E.070 2006.

El valor de f_m se obtuvo de los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma indicado en la tabla 15.

E. El módulo de elasticidad (E_m) y de corte (G_m) para la albañilería se considera así:

- Unidades de arcilla $E_m = 500 f'_m$.
- Unidades sílico calcáreas $E_m = 600 f'_m$.
- Unidades de concreto vibrado $E_m = 700 f'_m$.
- Para todo tipo de unidad de albañilería $G_m = 0.4 E_m$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Comportamiento estructural:** Es el conjunto de respuestas que presenta una estructura con relación a un estímulo, ya sea una carga, movimiento, desplazamiento, etc.
- **Albañilería:** Material estructural integrado por unidades asentadas con mortero o apiladas sin él.
- **Ladrillos de concreto:** Son elementos pre moldeados y modulares, diseñados para la albañilería confinada y armada. Se fabrican exclusivamente de cemento, agregados y agua. Se producen en los tipos sólidos, huecos, etc.
- **Resistencia a la compresión:** Es la relación que existe entre la carga última a compresión de un ladrillo y su sección bruta; esta define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie.
- **Módulo de elasticidad:** Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria.
- **Variación dimensional:** Es la propiedad que define la altura de las hiladas en la construcción, a mayores variaciones es necesario aumentar el espesor de la junta de mortero por encima de lo estrictamente recomendado.
- **Alabeo:** Es la medida de concavidades o convexidades en la superficie de asiento de una unidad de albañilería. También es la prueba de ensayo que nos da el desgaste o la poca importancia que se le dio al diseño u forma de los ladrillos.
- **Absorción:** Es la medida de la permeabilidad de una unidad de albañilería.
- **Succión:** Es la velocidad con que la unidad absorbe el agua del mortero.
- **Densidad:** Es la relación entre el peso de la unidad secada en el horno y el volumen de la misma.
- **Pilas de albañilería:** Son unidades asentadas con mortero o apiladas, ensayadas para determinar la compresión axial.
- **Muretes de albañilería:** Son testigos estándar a ensayar cuyo lado nominal varía desde 0.60 m a 1.20 m. Se hace de la albañilería cuyas características se quiere determinar. Son ensayados para determinar la compresión diagonal.
- **Mortero:** Es una mezcla plástica obtenida de la combinación de un cementante (cemento, cal o yeso) más arena y agua; sirve para unir ladrillos, piedras u otros que integran una obra constructiva, además se utiliza para enlucidos y revoques.

2.4. MARCO NORMATIVO

A. Norma Técnica E.070

Esta Norma establece las exigencias y requisitos para el análisis, el diseño, la ejecución, el control de calidad y la inspección de las construcciones de albañilería, estructuradas principalmente por muros confinados y armados.

B. Normas Técnicas Peruanas

- N.T.P. 399.601, 2016. Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de concreto de peso normal.
- N.T.P. 399.604 - revisada 2015. Establece los métodos de muestreo, los procedimientos y cálculos de los ensayos en las unidades de albañilería de concreto (variación diagonal, resistencia a compresión y absorción).
- N.T.P. 399.605, 2013. Establece los procedimientos y cálculos para el ensayo en pilas.
- N.T.P. 399.610, 2003. Unidades de Albañilería. Especificación normalizada para morteros.
- N.T.P. 399.613. Establece los métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en la albañilería (Alabeo, succión y coeficiente de saturación).
- N.T.P. 399.621, 2004 - revisada 2015. Establece el método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.
- N.T.P. 400.010, 2008 - revisada 2013. Establece los métodos de extracción y preparación de muestras del agregado.
- N.T.P. 400.011, 2008 - revisada 2013. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concreto.
- N.T.P. 400.012, 2008 - revisada 2013. Establece los métodos de ensayo para determinar el análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- N.T.P. 400.017, 2002 - revisada 2013. Establece el método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- N.T.P. 400.018, 2002 - revisada 2013. Determinación del material que pasa el tamiz normalizado N° 200.
- N.T.P. 400.022, 2002. Establece el método de ensayo normalizado, para el peso específico y absorción del agregado fino.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Figura 5. Ubicación geográfica de la región y provincia de Cajamarca. **Fuente:** mundivideo/coordenadas.com.



Figura 6. Ubicación geográfica donde se realizó la investigación. **Fuente:** mundivideo/coordenadas.com.

Dicha investigación se realizó en un periodo de 8 meses, comprendido entre abril y noviembre del 2019.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

A. Materiales

- Ladrillos macizos de concreto elaborados artesanalmente en las ladrilleras Aguilar y Lezama de la ciudad de San Marcos.
- Cemento Portland tipo I – Pacasmayo.
- Arena gruesa de la cantera del río Cascasen.
- Yeso.
- Agua potable.

B. Equipos e instrumentos

- Máquina universal para ensayo a compresión.
- Máquina para ensayo de muretes a compresión diagonal.
- Balanza con capacidad de 5000 g y una aproximación de 0.1 g.
- Balanza electrónica con capacidad de 30 kg y una aproximación de 0.01 g.
- Deformímetros.
- Mallas ASTM N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.
- Estufa 110 ± 5 °C.
- Vernier en divisiones de 0.4 mm.
- Regla de acero graduada con divisiones de 1,0 mm.
- Cuñas metálicas.
- Depósitos o bandejas.
- Cronómetro.
- Wincha metálica.
- Nivel de mano.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de la investigación

Teniendo en cuenta el propósito de la tesis y de acuerdo a lo que se indica, esta fue una investigación explicativa. En dicha investigación se describen las características y

propiedades de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos.

3.3.2. Diseño de la investigación

Diseño no experimental, ya que no se manipularon variables durante el desarrollo del trabajo de investigación.

3.3.3. Población y muestra de estudio

3.3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por los ladrillos de concretos elaborados artesanalmente en las ladrilleras Aguilar y Lezama de la ciudad de San Marcos. Dichos ladrillos fueron elaborados entre los meses de febrero y marzo del 2018.

A. Ladrillera Aguilar

- **Localización:** Ciudad de San Marcos, Región Cajamarca.
- **Altitud:** 2252 m.s.n.m.
- **Dirección:** Jr. Alfonso Ugarte s/n.
- **Propietario:** Rosa Aguilar.
- **Capacidad:** 25 000 unidades/mes.



Figura 7. Ubicación geográfica de la provincia de San Marcos (a). Fuente: mundivideo/coordenadas.com.

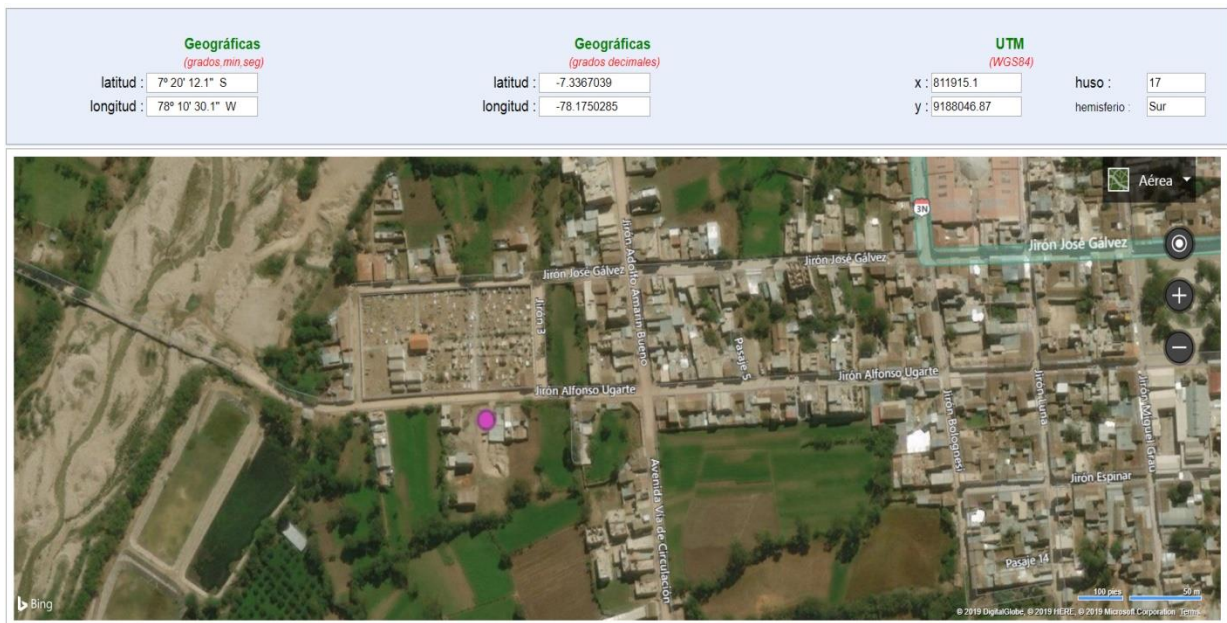


Figura 8. Ubicación geográfica de ladrillera Aguilar. **Fuente:** mundivideo/coordenadas.com.

B. Ladrillera Lezama

- **Localización:** Ciudad de San Marcos, Región Cajamarca.
- **Altitud:** 2252 m.s.n.m.
- **Dirección:** Jr. Túpac Amaru II s/n - Mollorco.
- **Propietario:** Juan Lezama.
- **Capacidad:** 20 000 unidades/mes.



Figura 9. Ubicación geográfica de la provincia de San Marcos (b). **Fuente:** mundivideo/coordenadas.com.

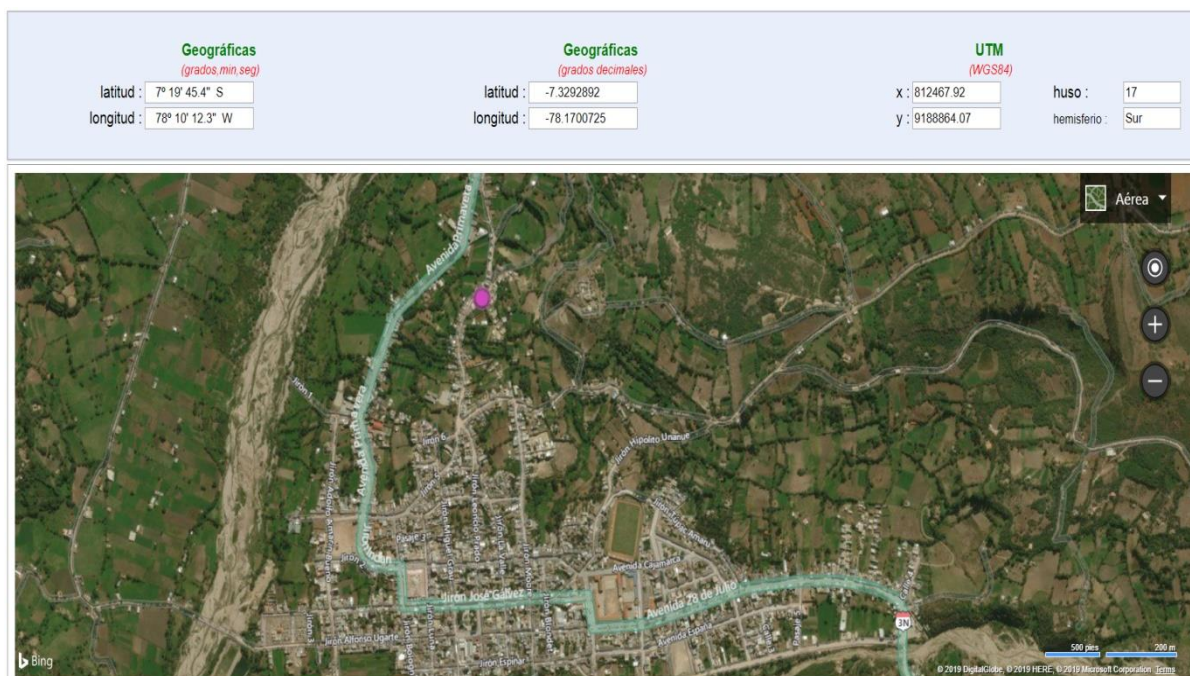


Figura 10. Ubicación geográfica de ladrillera Lezama. **Fuente:** mundivideo/coordenadas.com.

3.3.3.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 250 ladrillos de concreto por cada ladrillera. Para realizar los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se seleccionaron 30 unidades de la muestra. También se construyeron 10 pilas y 5 muretes por cada ladrillera para determinar la resistencia a compresión axial, resistencia al corte, módulo de elasticidad y módulo de corte. La muestra fue seleccionada cumpliendo las cantidades mínimas requeridas para realizar los ensayos dadas por la N.T.P. 399.604.

3.3.4. Método de investigación

Para evaluar el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos se realizaron ensayos en el laboratorio “Carlos Esparza Díaz”, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, siguiendo las Normas E.070 y N.T.P. Los ensayos fueron: Ensayo de variación dimensional, ensayo de alabeo, ensayo de resistencia a compresión, ensayo de absorción, ensayo de succión, ensayo de compresión axial en pilas y ensayo de compresión diagonal en muretes.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con lo que indica la Norma E.070 para determinar si cumplen y están dentro de los rangos especificados.

3.3.4.1. Muestreo

Se inició con la recopilación de datos de dos fábricas artesanales de ladrillos de concreto de la ciudad de San Marcos (Aguilar y Lezama); y se obtuvieron las muestras correspondientes.

Según la información obtenida la producción de ambas fábricas artesanales está en un promedio de 20 000 a 25 000 unidades por mes.

La muestra fue seleccionada de manera aleatoria por el investigador y en las cantidades especificadas (250 unidades por cada ladrillera), teniendo en consideración la N.T.P. 399.604, la cual indica que se seleccionarán 6 unidades de cada lote de 10 000 unidades o menos y 12 unidades de cada lote de más de 10 000 y menos de 100 000 unidades.

3.3.4.2. Ensayo de variación dimensional para ladrillos de concreto (N.T.P. 399.604)

Consistió en seleccionar los especímenes para definir sus dimensiones promedio a través de mediciones sucesivas de la longitud, la altura y el ancho.

A. Aparatos

Se utilizó una regla de acero graduada con divisiones de 1,0 mm.

B. Especímenes

Se seleccionaron 15 por cada ladrillera.

C. Procedimiento

Para cada unidad se procedió a medir y registrar el ancho (A) en la longitud media de las superficies de apoyo superior e inferior, la altura (H) en la longitud media de cada cara y la longitud (L) en la altura media de cada cara. Se tomó como dimensión promedio la longitud tomada en la parte media de las 4 caras de la unidad, utilizando las siguientes fórmulas:

$$Lp = \frac{L1 + L2 + L3 + L4}{4} \dots (4)$$

$$Ap = \frac{A1 + A2 + A3 + A4}{4} \dots (5)$$

$$Hp = \frac{H1 + H2 + H3 + H4}{4} \dots (6)$$

Donde:

- Lp, Ap, Hp: Son la longitud, el ancho y la altura promedio en mm.
- Ai, Hi, Li: Dimensiones medidas en los 4 lados de la longitud, el ancho y la altura en mm.

La variación dimensional está expresada en porcentaje y se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V(\%) = \frac{DE - DP}{DE} \times 100 \dots (7)$$

Donde:

- V (%): Variación dimensional en porcentaje.
- DE: Dimensión especificada por el fabricante (mm).
- DP: Dimensión promedio (mm).

3.3.4.3. Ensayo de alabeo para ladrillos de concreto (N.T.P. 399.613)

A. Aparatos

- Cuñas de mediciones con divisiones de 1,0 mm.
- Superficie plana de vidrio de 300x300 mm.

B. Especímenes

Se seleccionaron 15 por cada ladrillera.

C. Procedimiento

- **Cóncava:** Se colocó el espécimen sobre la superficie plana, luego haciendo uso de la cuña graduada, se tomó la medida de la concavidad de la unidad.
- **Convexa:** Se colocó el espécimen con la superficie convexa en contacto con la superficie plana. Usando la cuña graduada, se midió la distancia con aproximación de 1mm

El alabeo se evaluó a partir de la concavidad y convexidad de las unidades para lo cual se promedió los valores en milímetros.

3.3.4.4. Ensayo de resistencia a compresión para ladrillos de concreto (N.T.P. 399.604)

A. Aparatos

Se utilizó la máquina universal a compresión, compuesta por dos bloques de soporte de acero, uno de los cuales es una rotula con plato que transmite la carga a la superficie superior del espécimen y el otro un bloque rígido plano sobre el cual descansa el espécimen.

B. Especímenes

15 por cada ladrillera.

Los especímenes se almacenaron no apilados y separados por no menos de 13 mm, por más de 48 horas. Se continuó hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de 2 horas muestren un incremento de pérdida no mayor que 0.2 % del peso previo determinado del espécimen. Los especímenes no tuvieron el secado en horno.

C. Refrentado de los especímenes de prueba

El refrentado de los especímenes se realizó de acuerdo a la N.T.P. 399.604, siguiendo el segundo procedimiento, es decir, refrentado con yeso - cemento, para lo cual se extendió uniformemente en una superficie plana, pasta de alta resistencia, en donde se colocó el espécimen, para luego nivelar y pulir el asiento; además, se tuvo en cuenta que el espesor medio del refrentado no exceda de 3.2 mm. La proporción yeso - cemento usado fue de 4:1.

Después de haber refrentado todos los especímenes se esperó un tiempo mínimo de 2 horas para proceder a ensayarlos en la máquina a compresión.

D. Procedimiento

- Se colocó uno a uno los especímenes en la maquina a compresión, con su centroide alineado verticalmente con el centro de empuje de la rótula.
- Se aplicó la carga hasta la mitad de la máxima prevista y a una velocidad adecuada, después se ajustó los controles de la máquina para dar un recorrido

uniforme al cabezal móvil, tal que la carga restante se aplicó en no menos de 1 minuto y no más de 2 minutos.

- Se registró la carga última.

E. Cálculos

La resistencia unitaria a compresión de la unidad de albañilería se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$fb = \frac{Pmax}{Ab} \dots (8)$$

$$Ab = L \times A \dots (9)$$

Donde:

- $Pmax$: Carga máxima (kg).
- Resistencia unitaria a compresión (kg/cm^2).
- Ab : Área bruta. Largo por ancho promedio en cm.

De acuerdo a la Norma E.070, se calculó la resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ($f'b$), restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

Restarle una desviación estándar al valor promedio, estadísticamente significa que por lo menos el 84 % de las unidades ensayadas tuvieron una resistencia mayor al valor característico ($f'b$), o que es aceptable tener hasta un 16 % de unidades defectuosas.

$$f'b = fbprom - \sigma \dots (10)$$

Donde:

- $f'b$: Resistencia característica a compresión axial (kg/cm^2).
- $fbprom$: Resistencia unitaria promedio a compresión (kg/cm^2).
- σ : Desviación estándar.

3.3.4.5. Ensayo de absorción para ladrillos de concreto (N.T.P. 399.604)

A. Aparatos

- Balanza electrónica con capacidad de 30 kg y una aproximación de 0.01g.

- Estufa 110 ± 5 °C.

B. Especímenes

15 por cada ladrillera.

C. Procedimiento

- Se sumergió en agua los especímenes de prueba por 24 horas.
- Transcurridas las 24 horas se pesó los especímenes sumergidos totalmente en agua, suspendiéndolos con un alambre de metal y se registró W_i (peso sumergido).
- Se sacó del agua cada espécimen y se drenó por 1 minuto, retirando el agua superficialmente visible con un paño húmedo; después se pesó y registró W_s (peso saturado).
- Se colocó los especímenes en la estufa por 24 horas para secarlos y hasta que dos pesadas sucesivas en intervalos de 2 horas mostraron un incremento de la pérdida no mayor que 0.2 % del peso último previamente determinado del espécimen.
- Se registró los pesos secos al horno de los especímenes (W_d).

D. Cálculos

- Para determinar la absorción se utilizó las siguientes fórmulas:

$$\text{Absorción (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 1000 \dots (11)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \dots (12)$$

Donde:

- W_s : Peso saturado del espécimen (kg).
- W_i : Peso sumergido del espécimen (kg).
- W_d : Peso seco al horno del espécimen (kg).

- Para determinar el contenido de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad (\% de absorción total)} = \frac{W_r - W_d}{W_s - W_d} \times 100 \dots (13)$$

Donde:

- W_r : Peso recibido de la unidad (kg).
- W_d : Peso seco al horno de la unidad (kg).
- W_s : Peso saturado de la unidad (kg).

- Para calcular la densidad seca al horno se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_d}{W_s - W_i} \times 1000 \dots (14)$$

Donde:

- W_d : Peso seco al horno del espécimen (kg).
- W_s : Peso saturado del espécimen (kg).
- W_i : Peso sumergido del espécimen (kg).

3.3.4.6. Ensayo de succión para ladrillos de concreto (N.T.P. 399.613)

A. Aparatos

- Bandeja metálica.
- Soporte para ladrillos (se usaron dos varillas de acero de 5/8" de diámetro).
- Balanza con capacidad de 30 kg y aproximación de 0.01g.
- Estufa 110 ± 5 °C.
- Cronómetro.

B. Especímenes

15 por cada ladrillera.

C. Procedimiento

- Los especímenes se secaron en la estufa a una temperatura de 100 ± 5 °C por 24 horas.

- Transcurrido el tiempo de secado se colocaron a enfriar al aire libre por un periodo de 4 horas, continuando hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de dos horas muestren un incremento o pérdida no mayor de 0.2 % desde la última pesada del espécimen, registrando así el peso seco (P_{sec}).
- Para cada espécimen se midió la longitud y el ancho de la superficie plana, determinando el área que estuvo en contacto con el agua.
- Por otro lado, se preparó una bandeja con agua y se colocó sobre ésta dos varillas de acero de 5/8" que sirvieron de apoyo para cada espécimen.
- La prueba consistió en colocar el espécimen seco sobre las varillas de acero dentro de la bandeja llena de agua a un nivel de $3 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ durante 1 minuto.
- Cumplido el tiempo se retiró el espécimen de la bandeja y se secó el agua superficial dentro de los 10 segundos siguientes con ayuda de un paño, se volvió a pesar el espécimen con una aproximación de 0.5 g. durante los 2 minutos siguientes (P_{suc}).
- La succión esta expresada en gramos por minuto en un área normalizada de 200 cm^2 .

D. Cálculos

La succión se calculó con la siguiente formula:

$$S (g/min/200 \text{ cm}^2) = \frac{200 \times (P_{suc} - P_{sec})}{L \times A} \dots (15)$$

Donde:

- S : Succión.
- P_{suc} : Peso del espécimen luego de ser sumergido en agua durante 1 min. (kg).
- P_{sec} : Peso del espécimen luego de permanecer en el horno (kg).
- L : Longitud del espécimen.
- A : Ancho del espécimen.

3.3.4.7. Ensayo de prismas de albañilería para ladrillos de concreto

A. Ensayo de compresión axial en pilas (N.T.P. 399.605)

a. Aparatos

- Máquina universal a compresión.
- Wincha metálica.
- Deformímetro.
- Placas de acero con espesor no menor de 25,4 mm; longitud y ancho mayor en 15 mm que la longitud y ancho del espécimen.

b. Especímenes

- **Tamaño y forma:** Las pilas fueron construidas con 3 ladrillos, asentados en aparejo de soga uno sobre otro.
- **Número de especímenes:** Se construyeron 10 pilas por cada ladrillera usando mortero tipo P2 y tipo S, el cual fue diseñado analíticamente con la proporción 1:4 (cemento: arena) de acuerdo a las Normas E.070 y N.T.P. 399.610. La construcción de pilas se realizó teniendo en cuenta las consideraciones de verticalidad y nivelación de las unidades, de tal manera de no tener una variación considerable en la altura de las pilas; así mismo, se controló el espesor de las juntas que fueron de 1,5 cm.

c. Procedimiento

- Luego de haber elaborado las pilas y cumplido los 28 días se procedió a hacer el refrentado con yeso-cemento un día antes de realizado el ensayo para corregir irregularidades y algunos errores de nivelación.
- Se realizó la identificación de las pilas y toma de medidas: Altura (H), espesor (t) y largo (L).
- Se ubicó las pilas una a una en la máquina universal a compresión y se colocó el deformímetro para medir las deformaciones.
- Se procedió a aplicar la carga a velocidad constante, sin producir impactos para que cada ensayo tuviera una duración entre 3 y 4 min, tomando la lectura en el dial de las deformaciones cada 1000 kg de carga aplicada.

d. Cálculos

➤ **Cálculo de la resistencia característica a compresión axial (f^m)**

- ❖ Se calculó la esbeltez para cada pila con la siguiente fórmula:

$$Esbeltez = \frac{H}{t} \dots (16)$$

Donde:

- H : Altura de pila.
 - t : Espesor de pila.
- ❖ Con el valor de la esbeltez calculado, en la tabla 15 se encontró el factor de corrección (F_c).
 - ❖ Se calculó la resistencia a compresión axial de cada pila utilizando la siguiente fórmula:

$$f_m = \frac{P_{max}}{A_b} \dots (17)$$

$$A_b = L \times t \dots (18)$$

Donde:

- f_m : Resistencia a compresión axial (kg/cm^2).
 - P_{max} : Carga máxima aplicada a compresión.
 - A_b : Área bruta en cm^2 .
 - L : Largo de pila.
 - t : Espesor de pila.
- ❖ Se calculó f_m corregido, multiplicando f_m por el factor de corrección por esbeltez (F_c):

$$f_m \text{ corregido} = f_m \times F_c \dots (19)$$

- ❖ La resistencia característica a compresión axial (f^m) se obtuvo del valor promedio de la resistencia a compresión axial corregida (f_m corregido) de las pilas ensayadas menos la desviación estándar (σ):

$$f'm = fm \text{ corregido} - \sigma \dots (20)$$

➤ **Cálculo del módulo de elasticidad (Em)**

- ❖ De las lecturas tomadas del deformímetro, es decir, de las deformaciones de las pilas por cada 1000 kg de carga aplicada se procedió a realizar las gráficas esfuerzo vs deformación unitaria para 10 especímenes de cada ladrillera. Se obtuvo también la línea de tendencia y la ecuación.
- ❖ Para calcular el módulo de elasticidad Em se trabajó con la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, para lo cual se elimina la porción inicial que contempla el reacomodo de los instrumentos. Usualmente, la porción de la gráfica en análisis está comprendida entre el 10 % y el 50 % de la carga de rotura; para estos porcentajes se determinó el esfuerzo y la deformación unitaria, utilizando la siguiente fórmula:

$$Em = \frac{\delta}{\varepsilon} = \frac{\delta_{50\%} - \delta_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \dots (21)$$

Donde:

- Em: Módulo de elasticidad (kg/cm²).
 - δ: Esfuerzo (kg/cm²).
 - ε: Deformación unitaria.
- ❖ El módulo de elasticidad (Em) fue el promedio de todas las pilas ensayadas.

B. Ensayo de compresión diagonal en muretes (N.T.P. 399.921)

a. Aparatos

- Máquina para ensayo de muretes a compresión diagonal.
- Escuadras de carga (se usó 02 escuadras de acero).
- Deformímetros.
- Nivel de mano, cordel y herramientas manuales.

b. Especímenes

- **Tamaño y forma:** Los muretes contruídos fueron de 675 x 675 mm en promedio.

- **Número de especímenes:** Se construyeron 10 muretes, 5 por cada ladrillera. Los muretes tuvieron 6 hiladas y se usó mortero tipo P2 y tipo S cuya proporción cemento: arena fue de 1:4. Las juntas fueron de 1,5 cm.

c. Procedimiento

- Luego de cumplidos los 28 días de elaboración se procedió a hacer el refrentado con yeso-cemento en las esquinas de las diagonales de los muretes un día antes del ensayo, de tal manera de corregir irregularidades y obtener ángulos rectos; además, se tomó las medidas de largo (L), altura (H) y espesor (t).
- Se procedió a colocar los muretes en la máquina de ensayo a compresión diagonal, empezando por colocar las escuadras de acero tanto en la parte superior como inferior, centrándolo y plomándolo hasta lograr la estabilidad de los mismos.
- Se colocó 2 deformímetros en posiciones adecuadas, uno para determinar la deformación vertical y el otro para la deformación horizontal. Las lecturas de las deformaciones tanto vertical como horizontal se hicieron cada 200 kg de carga aplicada.
- Se aplicó la carga a incrementos adecuados, haciendo también el registro de las deformaciones.
- Pasada la mitad de la carga última se ajustaron los controles, de tal manera que el resto de carga se aplicó en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.

e. Cálculos

- **Cálculo de la resistencia al corte ($v'm$)**
- ❖ Para el cálculo de la resistencia al corte o compresión diagonal de los muretes se utilizó la siguiente fórmula:

$$vm = \frac{Pmax\ diagonal}{Ab} \dots (22)$$

Donde:

- vm : Resistencia al corte (kg/cm^2).
- $Pmax\ diagonal$: Carga máxima diagonal (kg).

- Ab : Área bruta diagonal del murete (por espesor) en cm^2 .
- ❖ La resistencia característica a compresión diagonal del grupo de muretes evaluados se obtuvo de la diferencia entre el promedio de vm y su desviación estándar:

$$v'm = vm - \sigma \dots (23)$$

➤ **Cálculo del módulo de corte (Gm)**

- ❖ Se inició calculando la deformación angular a partir de las deformaciones unitarias horizontal y vertical, para ello se utilizó las siguientes fórmulas:

$$\gamma = \varepsilon_H + \varepsilon_V \dots (24)$$

Luego:

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta H}{g} \dots (25)$$

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{g} \dots (26)$$

$$g = \sqrt{L^2 + H^2} \dots (27)$$

Donde:

- γ : Deformación angular.
- $\varepsilon_H, \varepsilon_V$: Deformación unitaria horizontal y vertical (cm/cm).
- $\Delta H, \Delta V$: Deformación horizontal y vertical (cm).
- g : Longitud de medición de deformaciones horizontal y vertical (cm) (Longitud de la diagonal).
- ❖ Con estos valores se procedió a graficar la curva esfuerzo cortante vs deformación angular, determinando la línea de tendencia de la dispersión y su ecuación. Para calcular el módulo de corte se escogió de la gráfica un tramo correspondiente a la zona elástica que represente el comportamiento lineal del elemento sometido a esfuerzos cortantes.
- ❖ El módulo de corte (Gm) se calculó entre el 10 % y 50 % del esfuerzo máximo de compresión diagonal. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Gm = \frac{\Delta vm}{\Delta \gamma} = \frac{vm_{50\%} - vm_{10\%}}{\gamma_{50\%} - \gamma_{10\%}} \dots (28)$$

Donde:

- Gm : Módulo de corte (kg/cm^2).
- Δvm : Incremento del esfuerzo cortante (kg/cm^2).
- $\Delta \gamma$: Incremento de la deformación angular (cm/cm).
- g : Longitud de medición de deformaciones horizontal y vertical (cm) (Longitud de la diagonal).
- $vm_{50\%}, vm_{10\%}$: Esfuerzo cortante al 50 % y 10 %, respectivamente.
- $\gamma_{50\%}, \gamma_{10\%}$: Deformación angular al 50 % y 10 %, respectivamente.

❖ El módulo de corte (Gm) fue el promedio de todos los muretes ensayados.

3.3.4.8. Ensayo de granulometría para agregado fino

Este ensayo se realizó con la finalidad de hacer el diseño analítico del mortero que sirvió para la construcción de pilas y muretes.

A. Elección de la cantera

La cantera elegida para la investigación fue la del río Cascasén. Dicha cantera está ubicada en la Av. Vía de Evitamiento, al sur de la ciudad de San Marcos, con una altitud de 2252 m.s.n.m; presentando agregados limpios y de buena calidad.

La extracción del agregado fino se hizo de depósito y se muestreó para los diferentes ensayos por el método del cuarteo.

B. Peso específico y absorción (N.T.P. 400.022)

Se determinó el peso específico de masa, el peso específico de masa saturada con superficie seca, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción.

a. Aparatos

- Balanza con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 0.1 gr.
- Frasco volumétrico de 500 cm^3 , calibrado hasta 0.10 cm^3 .
- Molde metálico y cónico, con diámetro menor de 4 cm, diámetro mayor de 9 cm y altura de 7,5 cm.

- Varilla de metal y redondeada, de 25 ± 3 mm de diámetro y 340 ± 15 gr. de peso.

b. Preparación de la muestra

- Se inició colocando aproximadamente 1 kg de agregado fino, seleccionado por el método del cuarteo y previamente seco a peso constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un envase adecuado.
- Se cubrió la muestra con agua y se la dejó en reposo durante 24 horas.
- Transcurrido el tiempo, se extendió la muestra sobre una superficie plana expuesta a la corriente de aire y se removió con frecuencia para tener un secado constante. Se continuó con este proceso hasta que los granos del agregado fino no se adhieran entre sí.
- Se colocó el agregado fino en forma suelta en el molde cónico y se golpeó suavemente la superficie 25 veces con la varilla de metal, después de lo cual se levantó el molde verticalmente. Se observó que el agregado aún mantenía la forma del cono, lo que nos permitió verificar que aún existía humedad libre.
- Se siguió secando, revolviendo constantemente y probando a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado se derrumbara al quitar el molde, lo que indicó que este había alcanzado la condición de superficie seca.

c. Procedimiento

- Se introdujo en el frasco una muestra de 500 gr del material preparado y se lo llenó de agua hasta alcanzar la marca de 500 cm^3 .
- En seguida se hizo rodar el frasco sobre una superficie plana hasta eliminar todas las burbujas de aire.
- Después de aproximadamente una hora se lo llenó de agua hasta la marca de 500 cm^3 y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco.
- Se sacó con cuidado el agregado fino del frasco y se lo secó hasta peso constante a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} - 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente y se obtuvo el peso seco.

d. Cálculos

➤ **Peso específico de masa**

$$Pe = \frac{Wo}{V - Va} \dots (29)$$

Donde:

- *Pe*: Peso específico de masa (gr/cm³).
- *V*: Volumen del frasco (cm³).
- *Wo*: Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).
- *Va*: Peso en (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

➤ **Peso específico de masa saturada con superficie seca**

$$Pesss = \frac{500}{V - Va} \dots (30)$$

Donde:

- *Pesss*: Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm³).
- *V*: Volumen del frasco (cm³).
- *Va*: Peso en (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

➤ **Peso específico aparente**

$$Pea = \frac{Wo}{(V - Va) - (500 - Wo)} \dots (31)$$

Donde:

- *Pea*: Peso específico aparente (gr/cm³).
- *Wo*: Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).
- *V*: Volumen del frasco (cm³).
- *Va*: Peso en (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

➤ **Porcentaje de absorción**

$$Abs = \frac{500 - Wo}{Wo} \times 100 \dots (32)$$

Donde:

- *Abs*: Porcentaje de absorción.

C. Análisis granulométrico del agregado fino (N.T.P. 400.012)

Por el método del cribado.

a. Aparatos

- Balanza con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 0.1 gr. del peso de la muestra ensayada.
- Juego de tamices conformados por: N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N° 200.
- Estufa 110 ± 5 °C.

b. Preparación de la muestra

- La cantidad de muestra ensayada fue de 1500 gramos obtenida por el método del cuarteo.

c. Procedimiento

- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Se colocó la muestra en la malla superior del juego de tamices, dispuestos en forma decreciente según la abertura (N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200) y se procedió al tamizado en forma manual.
- Si en el transcurso de un minuto, no pasó más del 1% en peso del material retenido sobre el tamiz, la operación del tamizado se concluyó.
- Se pesó la cantidad de muestra retenida en cada tamiz.

d. Cálculos

➤ Módulo de finura del agregado fino

Se calculó a partir del análisis granulométrico, sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100; y dividiendo dicha suma entre 100.

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \dots (33)$$

D. Peso unitario del agregado fino (N.T.P. 400.017)

Se determinó el peso unitario suelto seco y peso unitario seco compactado.

a. Aparatos

- Balanza con capacidad de 30 kg y sensibilidad de 0.1 gr. del peso de la muestra.
- Recipiente cilíndrico, rígido y de metal.
- Varilla compactadora de acero circular, de 5/8" de diámetro, 50 cm de largo y con extremo redondeado.
- Picnómetro o frasco de 500 cm³ de capacidad.
- Cucharón.
- Plancha de vidrio.

b. Preparación de la muestra

- La muestra se secó a temperatura ambiente y luego se seleccionó por el método del cuarteo.

c. Procedimiento

➤ Peso unitario seco compactado

- ❖ Se calculó el peso específico del agua para lo cual se pesó el picnómetro vacío y luego agregándole agua hasta la marca de 500 cm³. Se repitió este proceso por tres veces.
- ❖ Se calibró la medida del recipiente cilíndrico para lo cual se lo pesó vacío y luego se le agregó agua, cubriéndolo con una plancha de vidrio para eliminar las burbujas de aire; finalmente se registró dicho peso. Este procedimiento se repitió 3 veces.
- ❖ Para determinar el peso unitario seco compactado se utilizó el método de apisonado y se inició llenando el recipiente cilíndrico desde una altura no mayor de 5 cm hasta la tercera parte, nivelando la superficie con la mano. Se apisonó la muestra con la varilla compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre toda la superficie.
- ❖ Se llenó con la muestra hasta las 2/3 partes del recipiente cilíndrico y se compactó nuevamente con 25 golpes.

- ❖ Se llenó la medida del recipiente cilíndrico hasta rebosar, se golpeó las últimas 25 veces con la varilla compactadora y se enrasó utilizando la misma varilla, desechando el material sobrante.
- ❖ Se registró el peso del recipiente cilíndrico y el peso del recipiente más el agregado fino compactado.

➤ **Peso unitario suelto seco**

- ❖ Se llenó el recipiente cilíndrico con muestra hasta rebosar y dejando caer el agregado fino desde una altura no mayor de 5 cm por encima del borde superior del recipiente. Se eliminó el excedente del agregado con una reglilla.
- ❖ Se determinó el peso neto del agregado fino en el recipiente.

d. Cálculos

➤ **Peso específico del agua**

$$Pe_{agua} = \frac{Pfa - Pf}{Va} \dots (34)$$

Donde:

- Pe_{agua} : Peso específico del agua (kg/m³).
- Pfa : Peso del picnómetro más agua (kg).
- Pf : Peso del picnómetro (kg).
- Va : Volumen del agua (0.0005 m³).

➤ **Factor de calibración del recipiente**

$$F = \frac{Pe_{agua}}{Wa} \dots (35)$$

Donde:

- Pe_{agua} : Peso específico del agua (kg/m³).
- Wa : Peso del agua necesaria para llenar el recipiente (kg).

➤ **Peso unitario seco compactado**

$$PUSC = (Prac - Pr) \times F \dots (36)$$

Donde:

- *PUSC*: Peso unitario seco compactado (kg/m³).
- *Pra*: Peso del recipiente más agregado compactado (kg).
- *Pr*: Peso del recipiente (kg).
- *F*: Factor de calibración del recipiente.

➤ **Peso unitario suelto seco**

$$PUSS = (Pra - Pr) \times F \dots (37)$$

Donde:

- *PUSS*: Peso unitario suelto seco (kg/m³).
- *Pra*: Peso del recipiente más agregado (kg).
- *Pr*: Peso del recipiente (kg).
- *F*: Factor de calibración del recipiente.

E. Contenido de humedad del agregado fino (N.T.P. 399.185)

a. Aparatos

- Balanza con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 0.1 gr.
- Recipiente adecuado para colocar la muestra de ensayo.
- Estufa 110 ± 5 °C.

b. Preparación de la muestra

- Después de mezclar completamente el agregado fino y húmedo se seleccionó la muestra de ensayo por el método del cuarteo.

c. Procedimiento

- Se colocó la muestra húmeda a ensayar en un recipiente y se determinó dicho peso (MH).
- Se colocó el recipiente con la muestra húmeda en la estufa a una temperatura de 100 - 110 °C durante 24 horas.
- Se pesó el recipiente con la muestra seca (MS) y se determinó la cantidad de agua evaporada.

d. Cálculos

$$\%W = \frac{MH - MS}{MS} \times 100 \dots (38)$$

Donde:

- $\%W$: Porcentaje de humedad.
- MH : Peso de la muestra húmeda (kg).
- MS : Peso de la muestra seca (kg).

F. Material más fino que pasa el tamiz N° 200 (N.T.P. 400.018)

a. Aparatos

- Balanza con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 0.1 gr.
- Tamices N° 16 y N° 200.
- Envase de tamaño suficiente para mantener la muestra cubierta por agua.
- Estufa 110 ± 5 °C.

b. Preparación de la muestra

- Después de mezclar completamente el agregado fino, se seleccionó la muestra de ensayo por el método del cuarteo.

c. Procedimiento

- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de una hora de secado no difieran en más de 0.1%. La muestra de ensayo tuvo un peso de 350 gr (W_0).
- Se vació la muestra con suficiente agua sobre los tamices N° 16 y N° 200, lavando y evitando pérdidas.
- Se recogió la muestra que quedó en los tamices y se secó por 24 horas en la estufa con lo que se obtuvo el peso de la muestra seca y lavada (W_1).

d. Cálculos

$$F = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \dots (39)$$

Donde:

- F : Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200.
- W_0 : Peso seco de muestra original (gr).
- W_1 : Peso seco de la muestra lavada (gr).

3.3.4.9. Diseño del mortero

Tomando en consideración la Norma E.070 se utilizó el mortero tipo P2 para muros portantes (tabla 9) y de acuerdo a las Normas ASTM 270 y N.T.P. 399.610 se utilizó el mortero tipo S para una determinada resistencia (tablas 11 y 12).

Tabla 18. Características del mortero

Tipo	P2 (Norma E.070) S (ASTM 270 y N.T.P. 399.610)
Resistencia promedio mínima a los 28 días (ASTM 270 y N.T.P. 399.610)	12.4 Mpa 126.44 kg/cm ²
Materiales	Cemento Portland tipo I – Pacasmayo. Agregado fino de la cantera del río Cascasén. Agua potable.
Dosificación	1:4
Relación agua/cemento	0.9
Espesor de junta	1.5 cm

La relación a/c se obtuvo después de varios ensayos, adicionando agua al mortero hasta poder llegar a una consistencia trabajable y que al mismo tiempo esté dentro de la resistencia exigida por el tipo de mortero escogido. Se trabajó de esta manera para hallar dicha relación por falta de la mesa de flujo, necesaria para determinar la fluidez de los morteros.

A. Resistencia a compresión de especímenes de mortero

a. Aparatos

- Máquina universal a compresión.
- Regla de acero graduada con divisiones de 1,0 mm.

b. Preparación de la muestra

- Para determinar la resistencia a compresión del mortero se elaboró 20 especímenes de 5 cm de lado, los cuales fueron curados durante 7 días y ensayados a los 28 días.

c. Procedimiento

- Se colocó los especímenes de mortero en la maquina universal a compresión para ser ensayados y registrar la carga última.

d. Cálculos

- Se calculó la resistencia a compresión del mortero aplicando la siguiente fórmula:

$$fmo = \frac{Pu}{A} \dots (40)$$

Donde:

- fmo : Resistencia unitaria a compresión del mortero (kg/cm^2).
- Pu : Carga última (kg).
- A : Área bruta del espécimen (cm^2).

Siendo el área bruta del espécimen:

$$A = L^2 \dots (41)$$

Donde: L es el lado del espécimen en cm.

- La resistencia característica a compresión del mortero fue el promedio de las resistencias menos la desviación estándar:

$$f'cm = fc - \sigma \dots (42)$$

Donde:

- $f'cm$: Resistencia característica a compresión del mortero (kg/cm^2).
- fc : Resistencia a compresión del mortero (kg/cm^2).
- σ : desviación estándar (kg/cm^2).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ENSAYOS CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO DE CONCRETO

4.1.1. Ensayo de variación dimensional

Tabla 19. Variación dimensional del ladrillo de concreto

Descripción		Ladrillera Aguilar	Ladrillera Lezama
Longitud	Longitud efectiva promedio (mm)	239.74	240.77
	Longitud de fábrica (mm)	240.00	240.00
	Desviación estándar (σ)	1.08	0.58
	Coefficiente de variación (%)	0.45	0.24
	Variación dimensional (%)	0.11	-0.32
Ancho	Ancho efectivo promedio (mm)	140.49	140.25
	Longitud de fábrica (mm)	140.00	140.00
	Desviación estándar (σ)	0.46	0.54
	Coefficiente de variación (%)	0.33	0.39
	Variación dimensional (%)	-0.35	-0.18
Altura	Altura efectiva promedio (mm)	99.18	97.87
	Longitud de fábrica (mm)	100.00	100.00
	Desviación estándar (σ)	0.68	0.57
	Coefficiente de variación (%)	0.69	0.58
	Variación dimensional (%)	0.83	2.13

- A. De acuerdo a los resultados obtenidos la variación dimensional en las unidades de la ladrillera Aguilar cumple con los valores indicados para el ladrillo clase I, de la tabla 1, de la Norma E.070 (± 4 %, ± 6 % y ± 8 % de variación dimensional máxima).
- B. La variación dimensional en las unidades de la ladrillera Lezama cumple con los valores indicados para el ladrillo clase II, de la tabla 1, de la Norma E.070 (± 4 %, ± 6 % y ± 7 % de variación dimensional máxima).
- C. La mayor variación dimensional para la longitud se presenta en las unidades de la ladrillera Lezama (V.D. -0.32 % y C.V. 0.24 %) en comparación con las unidades de la ladrillera Aguilar (V.D. 0.11 % y C.V. 0.45 %).
- D. La mayor variación dimensional para el ancho se presenta en las unidades de la ladrillera Aguilar (V.D. -0.35 % y C.V. 0.33 %) en comparación con las unidades de la ladrillera Lezama (V.D. -0.18 % y C.V. 0.39 %).

- E.** La mayor variación dimensional para la altura se presenta en las unidades de la ladrillera Lezama (V.D. 2.13 % y C.V. 0.58 %) en comparación con las unidades de la ladrillera Aguilar (V.D. 0.83 % y C.V. 0.69 %).

4.1.2. Ensayo de alabeo

Tabla 20. Alabeo del ladrillo de concreto

Ladrillera	Forma	Alabeo promedio (mm)
Aguilar	Convexo	1.07
	Cóncavo	0.30
Lezama	Convexo	1.73
	Cóncavo	0.27

- A.** Según los resultados obtenidos los alabeos promedio en las unidades de la ladrillera Aguilar cumplen con el ladrillo clase I, de la tabla 1, de la Norma E.070 (10 mm de alabeo máximo).
- B.** Los alabeos promedio en las unidades de la ladrillera Lezama cumplen con el ladrillo clase II, de la tabla 1, de la Norma E.070 (8 mm de alabeo máximo).
- C.** El alabeo promedio convexo es mayor que el alabeo promedio cóncavo para las unidades de ambas ladrilleras. En las unidades de la ladrillera Aguilar es de 1.07 mm y en las unidades de la ladrillera Lezama es de 1.73 mm.
- D.** El alabeo promedio convexo en las unidades de la ladrillera Lezama (1.73 mm) es mayor que en las unidades de la ladrillera Aguilar (1.07 mm).
- E.** El alabeo promedio cóncavo en las unidades de la ladrillera Aguilar (0.30 mm) es mayor que en las unidades de la ladrillera Lezama (0.27 mm).

4.1.3. Ensayo de resistencia a compresión

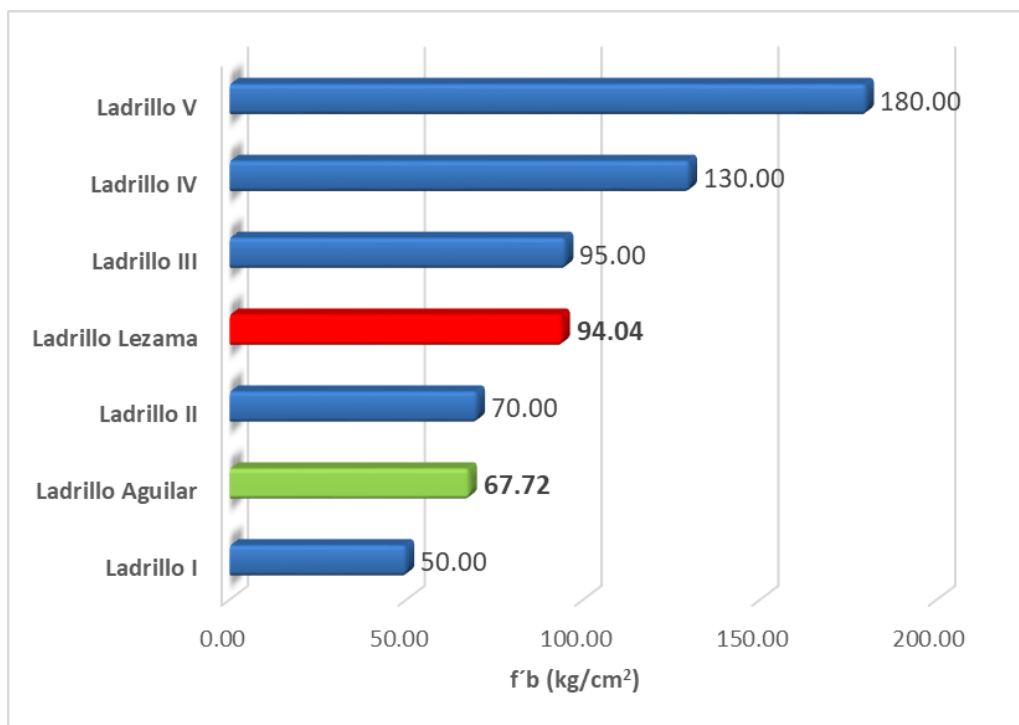
Tabla 21. Resistencia característica a compresión axial del ladrillo de concreto

Ladrillera	Resistencia característica a compresión axial (f'_b) (kg/cm ²)	Resistencia característica a compresión axial (f'_b) (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Aguilar	67.72	6.44	5.48
Lezama	94.04	9.22	4.07

A. Según los resultados obtenidos la resistencia característica a compresión axial en las unidades en la ladrillera Aguilar (67.72 kg/cm² ó 6.44 MPa) cumple con el ladrillo clase I, de la Norma E.070 (tabla 1), cuyo valor mínimo es de 50 kg/cm² ó 4.9 MPa.

B. La resistencia característica a compresión axial en las unidades de la ladrillera Lezama (94.04 kg/cm² ó 9.22 MPa) cumple con el ladrillo clase II, de la Norma E.070 (tabla 1), cuyo valor mínimo es de 70 kg/cm² ó 6.9 MPa.

Gráfico 4. Resistencias a compresión axial según la Norma E.070 y las obtenidas



- C. La resistencia característica a compresión axial en las unidades de la ladrillera Lezama (94.04 kg/cm^2 ó 9.22 MPa) es mayor que en las unidades de la ladrillera Aguilar (67.72 kg/cm^2 ó 6.44 MPa).
- D. El coeficiente de variación para ambos casos es menor que el 40 % especificado en la Norma E.070 para unidades producidas artesanalmente, por lo que se acepta la muestra.

4.2. ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS DEL LADRILLO DE CONCRETO

4.2.1. Ensayo de Absorción

Tabla 22. Absorción, contenido de humedad y densidad del ladrillo de concreto

Ladrillera	Absorción (kg/m^3)	Absorción (%)	Contenido de humedad (%)	Densidad (kg/m^3)
Aguilar	147.33	7.04	33.31	2093.93
Lezama	133.26	6.44	28.36	2070.33

- A. De acuerdo a los resultados obtenidos la absorción en las unidades de la ladrillera Aguilar (147.33 kg/cm^3 ó 7.04%) es mayor que en las unidades de la ladrillera Lezama (133.26 kg/cm^3 ó 6.44%).
- B. El contenido de humedad y la densidad son mayores en las unidades de la ladrillera Aguilar en comparación con las unidades de la ladrillera Lezama.
- C. De acuerdo a la N.T.P. 399.601 y según las densidades obtenidas (2093.93 kg/m^3 y 2070.33 kg/m^3) las unidades de albañilería son consideradas de peso normal. Bajo este concepto se definen como unidades de peso normal a aquellas que en condiciones de secado tienen una densidad de 2000 kg/m^3 o más.

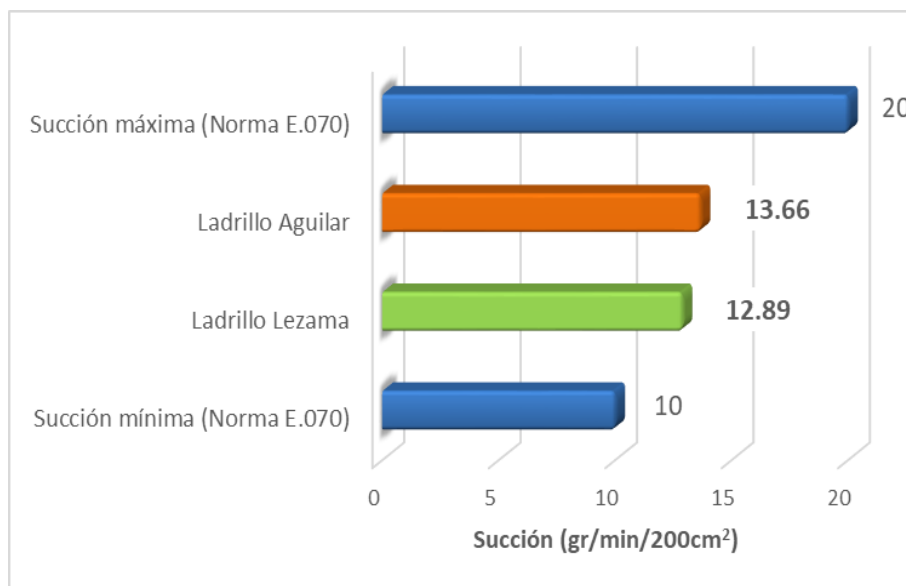
4.2.2. Ensayo de Succión

Tabla 23. Succión del ladrillo de concreto

Ladrillera	Succión (gr/min/200cm ²)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Aguilar	13.66	1.14	8.33
Lezama	12.89	1.18	9.19

- A. La succión en las unidades de la ladrillera Aguilar (13.66 gr/min/200cm²) es mayor que en las unidades de la ladrillera Lezama (12.89 gr/min/200cm²).
- B. Para las unidades de ambas ladrilleras no es necesaria la saturación antes del asentando con mortero, puesto que la succión que presentan es menor a 20 gramos por minuto en un área de 200 cm², lo cual está dentro del rango especificado por la Norma E.070 (succión para ladrillos comprendida entre los 10 y 20 gr/200 cm²-min).

Gráfico 5. Succiones de las unidades de concreto



4.3. CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO

A. Ladrillera Aguilar

Comparando los resultados obtenidos en los ensayos con la tabla 1 (tomada de la Norma E.070) donde se indica la clase de unidad de albañilería para fines estructurales, se observa que las unidades de la ladrillera Aguilar cumplen con el Ladrillo Clase I.

Tabla 24. Clasificación de las unidades de la ladrillera Aguilar

Propiedades físicas y mecánicas		Unidades	Ladrillo de concreto "Aguilar"	Norma E.070	Clase de Unidad
Variación dimensional	Longitud	%	+0.11	±4 (máximo)	I
	Ancho	%	-0.35	±6 (máximo)	
	Alto	%	+0.83	±8 (máximo)	
Alabeo	Convexo	mm	1.07	10 (máximo)	I
	Cóncavo	mm	0.30		
Resistencia característica a compresión		kg/cm ²	67.72	Entre 50 y 70	I

B. Ladrillera Lezama

Comparando los resultados obtenidos en los ensayos con la tabla 1 (tomada de la Norma E.070) donde se indica la clase de unidad de albañilería para fines estructurales, se observa que las unidades de la ladrillera Lezama cumplen con el Ladrillo Clase II.

Tabla 25. Clasificación de las unidades de la ladrillera Lezama

Propiedades físicas y mecánicas		Unidades	Ladrillo de concreto "Lezama"	Norma E.070	Clase de Unidad
Variación dimensional	Longitud	%	-0.32	±4 (máximo)	II
	Ancho	%	-0.18	±6 (máximo)	
	Alto	%	+2.13	±7 (máximo)	
Alabeo	Convexo	mm	1.73	8 (máximo)	II
	Cóncavo	mm	0.27		
Resistencia característica a compresión		kg/cm ²	94.04	Entre 70 y 95	II

4.4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA CON LADRILLOS DE CONCRETO

4.4.1. Pilas de albañilería con ladrillos de concreto

- A. Se obtuvieron los siguientes resultados de las pilas ensayadas para cada una de las ladrilleras:

Tabla 26. Resistencia a compresión axial y módulo de elasticidad en pilas

Ladrillera	Resistencia a compresión axial corregida (f'_m) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad teórico (Norma E.070) (kg/cm ²)
Aguilar	33.89	7594.46	23724.71
Lezama	36.20	9333.49	25339.38

De la tabla 26 observamos que la resistencia a compresión axial corregida en las pilas de la ladrillera Lezama (36.20 kg/cm²) es mayor al de las pilas de la ladrillera Aguilar (33.89 kg/cm²). Haciendo una comparación de ambas resistencias con lo que indica la tabla 17 para pilas de ladrillo King Kong artesanal (35 kg/cm²), existe una variación porcentual del 3.43 % respecto a las unidades de la ladrillera Lezama y -3.17 % respecto a las unidades de la ladrillera Aguilar.

- B. El módulo de elasticidad (E_m) en las pilas de la ladrillera Lezama (9333.49 kg/cm²) es mayor que en las pilas de la ladrillera Aguilar (7594.46 kg/cm²). Además, para ambas ladrilleras se presentaron marcadas variaciones con respecto al módulo de elasticidad teórico obtenido de la Norma E.070 ($E_m = 700 f'_m$), lo que ocasionaría que no se tenga un buen comportamiento frente a las fuerzas sísmicas.
- C. Los tipos de fallas que se presentaron en las pilas fueron: Falla ideal y falla por aplastamiento local.

4.4.2. Muretes de albañilería con ladrillos de concreto

- A. Se obtuvieron los siguientes resultados de los muretes ensayados para cada una de las ladrilleras:

Tabla 27. Resistencia a compresión diagonal y módulo de corte en muretes

Ladrillera	Resistencia característica al corte ($v'm$) (kg/cm^2)	Módulo de corte (Gm) (kg/cm^2)	Módulo de corte teórico (Norma E.070) (kg/cm^2)
Aguilar	8.39	2118.61	3733.40
Lezama	9.46	1588.03	3037.78

De la tabla 27 observamos que la resistencia característica al corte en los muretes de la ladrillera Lezama (9.46 kg/cm^2) es mayor al de los muretes de la ladrillera Aguilar (8.39 kg/cm^2). Haciendo una comparación de ambas resistencias con lo que indica la tabla 17 para muretes de ladrillo King Kong artesanal (5.1 kg/cm^2), existe una variación porcentual del 85.50 % respecto a las unidades de la ladrillera Lezama y 64.50 % respecto a las unidades de la ladrillera Aguilar.

- B. De los gráficos esfuerzo cortante vs deformación angular se obtuvo el módulo de corte (Gm): Para la ladrillera Aguilar fue de 2118.61 kg/cm^2 y para la ladrillera Lezama fue de 1588.03 kg/cm^2 . Haciendo una comparación de estos datos respecto al módulo de corte teórico ($Gm = 0.4 E_m$) indicado en la Norma E.070, existe una variación porcentual del -43.25 % para los muretes de la ladrillera Aguilar y -47.72 % para los muretes de la ladrillera Lezama.
- C. La resistencia característica al corte ($v'm$) en los muretes de la ladrillera Aguilar (8.39 kg/cm^2) es mayor que la resistencia al corte máximo ($v'm \text{ Máx}$) (5.82 kg/cm^2), calculado mediante la Norma E.070 ($\sqrt{f'm}$ en kg/cm^2).
- D. La resistencia característica al corte ($v'm$) en los muretes de la ladrillera Lezama (9.46 kg/cm^2) es mayor que la resistencia al corte máximo ($v'm \text{ Máx}$) (6.01 kg/cm^2), calculado mediante la Norma E.070 ($\sqrt{f'm}$ en kg/cm^2).

E. La resistencia al corte ($v'm$) determinada para los muretes de ambas ladrilleras es mayor que la resistencia al corte máximo ($\sqrt{f'm}$ en kg/cm^2), considerado en la Norma E.070 para efectos de diseño. Con la finalidad de tomar un rango de amplitud y/o seguridad, se debe considerar que $v'm_{\text{diseño}} \leq v'm_{\text{actuante}}$ y evitar que los muros se fisuren ante sismos moderados.

Tabla 28. Análisis de resistencia al corte

Ladrillera	Ensayos de laboratorio		Norma E.070	$v'm_{\text{diseño}}$ (kg/cm^2)
	$v'm_{\text{actuante}}$ (kg/cm^2)	$f'm$ pilas (kg/cm^2)	$v'm_{\text{máximo}} = \sqrt{f'm}$ (kg/cm^2)	
Aguilar	8.39	33.89	5.82	5.82
Lezama	9.46	36.20	6.02	6.02

F. Los tipos de falla que se presentaron en los muretes fueron: Falla mixta por tracción diagonal y corte escalonado y falla por tracción diagonal.

4.5. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO

La resistencia característica a compresión del mortero a los 28 días fue de 133.40 kg/cm^2 , tal como se indica en la tabla 29, cumpliendo así con el diseño especificado (f'_{cm} mínimo: 126.44 kg/cm^2) para un mortero tipo S y P2 para muros portantes.

Tabla 29. Resultados del ensayo a compresión del mortero

Característica	Valores	
	MPa	Kg/cm^2
Promedio resistencia a compresión (f_{cm})	13.21	135.75
Desviación estándar (σ)	0.23	2.35
Resistencia característica a compresión (f'_{cm})	13.08	133.40
Coefficiente de variación (%)	1.73	1.73

4.6. CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a los resultados obtenidos, el comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, cumple en un 70 %, respecto a la Norma E.070.

Los valores obtenidos para las propiedades de variación dimensional, alabeo y resistencia a compresión en las unidades de las ladrilleras Aguilar y Lezama, cumplen con el ladrillo clase I y II especificados en la Norma E.070.

La resistencia a compresión axial promedio de las pilas de la ladrillera Aguilar (33.89 kg/cm²) no cumple con la mínima resistencia especificada en la Norma E.070 (35 kg/cm²) para pilas de ladrillo King Kong Artesanal.

La resistencia a compresión axial promedio de las pilas de la ladrillera Lezama (36.20 kg/cm²) cumple con la mínima resistencia especificada en la Norma E.070 (35 kg/cm²) para pilas de ladrillo King Kong Artesanal.

La resistencia a compresión diagonal promedio de los muretes de la ladrillera Aguilar (8.39 kg/cm²) cumple con las resistencias especificadas en la Norma E.070: 5.1 kg/cm², para muretes de ladrillo King Kong Artesanal y 8.1 kg/cm², para muretes de ladrillo King Kong Industrial.

La resistencia a compresión diagonal promedio de los muretes de la ladrillera Lezama (9.46 kg/cm²) cumple con las resistencias especificadas en la Norma E.070: 5.1 kg/cm², para muretes de ladrillo King Kong Artesanal; 8.1 kg/cm², para muretes de ladrillo King Kong Industrial; 8.6 kg/cm², para bloques de concreto tipo P y 9.2 kg/cm², para muretes de ladrillo Rejilla Industrial.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A. El comportamiento estructural de la albañilería con ladrillos de concreto elaborados artesanalmente en la ciudad de San Marcos, cumple en un 70 %, respecto a lo indicado en la Norma E.070.
- B. Según los valores de variación dimensional, alabeo y resistencia a compresión axial, las unidades de la ladrillera Aguilar se clasifican como ladrillo clase I y las unidades de la ladrillera Lezama como ladrillo clase II (Norma E.070).
- C. Los valores de absorción para las unidades de ambas ladrilleras cumplen con lo que indica la Norma E.070, la cual recomienda valores no mayores a 12 % para bloques de concreto.
- D. Los valores de succión para las unidades de ambas ladrilleras están dentro del rango que indica la Norma E.070 (entre 10 y 20 gr/min/200cm²), por lo que no es necesario saturarlas antes de ser utilizadas.
- E. La resistencia a la compresión axial ($f'm$) de las pilas de la ladrillera Aguilar, no cumple con la resistencia mínima especificada en la Norma E.070 (35 kg/cm²); mientras que para las pilas de la ladrillera Lezama, cumple solo con el ladrillo King Kong Artesanal (tabla 17).
- F. El módulo de elasticidad (E_m) para las pilas de ambas ladrilleras, no cumple con lo indicado en la Norma E.070 (E_m teórico = 700 $f'm$), cuyo valor calculado es 23724.71 kg/cm² para las pilas de la ladrillera Aguilar y 25339.38 kg/cm² para las pilas de la ladrillera Lezama.
- G. La resistencia al corte ($v'm$) para los muretes de ambas ladrilleras solo cumple para los ladrillos King Kong Artesanal, King Kong Industrial, Rejilla Industrial y algunos bloques de concreto tipo P (tabla 17).

H. El módulo de corte (G_m) para los muretes de ambas ladrilleras, no cumple con lo indicado en la norma E.070 (G_m teórico = $0.4 E_m$), cuyo valor calculado es 3733.40 kg/cm^2 para los muretes de la ladrillera Aguilar y 3037.78 kg/cm^2 para los muretes de la ladrillera Lezama.

5.2. RECOMENDACIONES

- A.** Se recomienda complementar la investigación haciendo muros a escala real, con la finalidad de ensayarlos y hallar la rigidez lateral.
- B.** Se recomienda hacer una evaluación del comportamiento estructural de las unidades de concreto de todas las ladrilleras existentes en la ciudad de San Marcos, para tener una base de datos más completa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Afanador, N; Guerrero, G; Monroy, R. 2012. Propiedades Físicas y Mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Ocaña, Colombia, UFPS. 58 p.
- ❖ Arrieta, J; Peñaherrera, E. 2001. Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Lima, UNI. 61 p.
- ❖ Astroza, M; Schmidt, A. 2004. Capacidad de deformación de muros de albañilería para distintos niveles de desempeño. Ciudad de México, México, UNAM. 75 p.
- ❖ Barranzuela, J. 2014. Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura. Tesis Ing. Civil. Piura, Pirhua - UP. 87 p.
- ❖ Biondi, A. 2015. El cemento, tipos de cemento, el cemento en el Perú, empresas y procesos de producción. Disponible en <http://es.scribd.com/presentation/280573133/Cemento-en-El-Perú>.
- ❖ Enciso, F. 2012. Ensayos a la unidad de albañilería. 56 p. Disponible en http://www.academia.edu/10643669/ENSAYOS_A_LA_UNIDAD_DE_ALBAÑILERIA_A_.
- ❖ Fernández, L; Marín, F; Varela, J; Vargas, G. 2009. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY 13(2):41-50.
- ❖ Floriano, A. 2014. Comportamiento estructural de albañilería confinada de bloques de concreto similares a la construcción tradicional de Haití. Tesis Ing. Civil. Lima, PUCP. 101 p.
- ❖ Gallegos, H; Casabonne, C. 2005. Albañilería estructural. Tercera edición. Lima, fondo editorial PUCP. 404 p.
- ❖ Gamboa, D. 2017. Determinación de la resistencia a compresión axial y resistencia al corte puro de la albañilería de ladrillos King Kong de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba. Tesis Ing. Civil. Cajamarca, UNC.

- ❖ Lezama, J. 2013. Tecnología de concreto. Cajamarca, UNC. 74 p.
- ❖ Norma Técnica Peruana E.070. 2006. Albañilería.
- ❖ N.T.P. 399.604, 2002. Métodos de muestreo y ensayos en las unidades de albañilería de concreto.
- ❖ N.T.P. 399.605, 2013. Establece los procedimientos y cálculos para el ensayo en pilas.
- ❖ N.T.P. 399.610, 2003. Unidades de Albañilería. Especificación normalizada para morteros.
- ❖ N.T.P. 399.621, 2004. Unidades de Albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.
- ❖ N.T.P. 400.011, 2008 - revisada 2013. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concreto.
- ❖ N.T.P. 400.012, 2008 - revisada 2013. Establece los métodos de ensayo para determinar el análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- ❖ San Bartolomé, A; Quiun, D; Silva, W. 2011. Diseño y Construcciones de estructuras Sismo resistentes de Albañilería. Segunda edición. Lima, PUCP. 344 p.
- ❖ Villegas, C. 2008. Estudio de verificación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla cocida de lima metropolitana. Tesis Ing. Civil. Lima, UNI. 285 p.
- ❖ Zavala, C. 2005. Construyendo edificaciones de albañilería con tecnologías apropiadas. Lima, UNI. 25 p.

ANEXOS

ANEXO I: RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Tabla 30. Ensayo de variación dimensional para la longitud efectiva

Especimen	Ladrillera Aguilar				Longitud promedio (mm)	Especimen	Ladrillera Lezama				Longitud promedio (mm)
	Longitud efectiva (mm)						Longitud efectiva (mm)				
	L1	L2	L3	L4			L1	L2	L3	L4	
MA1	242.00	242.50	242.00	241.50	242.00	ML1	239.00	242.00	240.00	240.00	240.25
MA2	237.50	238.00	239.00	238.50	238.25	ML2	240.00	241.50	242.00	239.00	240.63
MA3	238.00	242.50	240.00	240.00	240.13	ML3	239.50	242.00	242.00	242.00	241.38
MA4	240.00	241.50	243.00	240.50	241.25	ML4	238.50	242.00	241.50	242.00	241.00
MA5	238.00	240.00	240.00	241.00	239.75	ML5	241.00	242.00	242.00	241.50	241.63
MA6	238.00	241.00	239.00	239.00	239.25	ML6	238.00	239.00	242.50	242.00	240.38
MA7	239.50	239.00	240.50	240.50	239.88	ML7	242.00	242.00	241.00	242.00	241.75
MA8	240.00	242.00	241.00	240.00	240.75	ML8	239.00	241.00	242.00	240.00	240.50
MA9	237.00	242.00	240.00	239.00	239.50	ML9	238.00	242.00	240.00	240.50	240.13
MA10	238.00	240.00	238.00	238.00	238.50	ML10	238.00	242.00	240.00	242.00	240.50
MA11	238.50	241.50	240.00	240.00	240.00	ML11	239.00	239.50	240.00	240.00	239.63
MA12	238.00	242.00	240.50	241.50	240.50	ML12	240.00	242.00	242.00	240.00	241.00
MA13	237.50	239.50	240.00	239.00	239.00	ML13	240.00	240.00	242.00	241.50	240.88
MA14	237.00	238.00	239.00	239.00	238.25	ML14	239.00	242.00	242.00	242.00	241.25
MA15	238.00	241.50	238.50	238.50	239.13	ML15	239.00	242.50	241.00	240.00	240.63
Longitud efectiva promedio (mm)					239.74	Longitud efectiva promedio (mm)					240.77
Longitud de fábrica (mm)					240.00	Longitud de fábrica (mm)					240.00
Desviación estándar (σ)					1.08	Desviación estándar (σ)					0.58
Coefficiente de variación (%)					0.45	Coefficiente de variación (%)					0.24
Variación dimensional (%)					0.11	Variación dimensional (%)					-0.32

Tabla 31. Ensayo de variación dimensional para el ancho efectivo

Especímen	Ladrillera Aguilar				Ancho promedio (mm)	Especímen	Ladrillera Lezama				Ancho promedio (mm)
	Ancho efectivo (mm)						Ancho efectivo (mm)				
	A1	A2	A3	A4			A1	A2	A3	A4	
MA1	139.00	142.50	142.00	140.00	140.88	ML1	140.00	142.00	140.00	142.50	141.13
MA2	140.00	142.00	140.00	141.00	140.75	ML2	139.50	141.00	140.00	142.50	140.75
MA3	139.00	142.50	139.00	142.00	140.63	ML3	139.00	140.00	139.00	140.00	139.50
MA4	138.00	142.00	140.00	142.00	140.50	ML4	139.00	142.00	140.00	140.00	140.25
MA5	138.00	141.00	139.50	140.50	139.75	ML5	140.00	140.50	141.00	141.00	140.63
MA6	140.50	141.00	140.00	142.00	140.88	ML6	139.00	141.50	140.50	140.50	140.38
MA7	140.00	142.00	139.00	142.50	140.88	ML7	139.00	139.00	139.00	141.00	139.50
MA8	139.50	141.50	141.00	139.00	140.25	ML8	138.00	142.00	140.00	140.00	140.00
MA9	140.00	142.00	141.50	140.00	140.88	ML9	140.00	142.00	142.50	140.00	141.13
MA10	139.00	142.50	140.00	141.00	140.63	ML10	138.00	142.00	140.00	140.00	140.00
MA11	138.50	139.00	139.00	142.00	139.63	ML11	138.00	141.00	139.00	141.00	139.75
MA12	138.50	140.00	140.00	140.50	139.75	ML12	138.50	140.00	140.00	140.00	139.63
MA13	140.00	142.50	142.00	139.50	141.00	ML13	139.00	142.00	140.00	142.00	140.75
MA14	139.50	141.50	142.00	140.00	140.75	ML14	137.00	142.00	141.00	140.50	140.13
MA15	140.00	142.00	140.00	139.00	140.25	ML15	139.00	141.50	141.00	139.50	140.25
Ancho efectivo promedio (mm)					140.49	Ancho efectivo promedio (mm)					140.25
Ancho de fábrica (mm)					140.00	Ancho de fábrica (mm)					140.00
Desviación estándar (σ)					0.46	Desviación estándar (σ)					0.54
Coefficiente de variación (%)					0.33	Coefficiente de variación (%)					0.39
Variación dimensional (%)					-0.35	Variación dimensional (%)					-0.18

Tabla 32. Ensayo de variación dimensional para el alto efectivo

Especimen	Ladrillera Aguilar				Alto promedio (mm)	Especimen	Ladrillera Lezama				Alto promedio (mm)
	Alto efectivo (mm)						Alto efectivo (mm)				
	H1	H2	H3	H4			H1	H2	H3	H4	
MA1	99.00	97.00	101.00	98.00	98.75	ML1	97.00	100.00	98.00	97.50	98.13
MA2	101.00	99.00	98.00	101.50	99.88	ML2	97.50	97.00	99.00	97.00	97.63
MA3	99.00	101.00	100.00	102.00	100.50	ML3	98.00	97.00	97.00	98.00	97.50
MA4	98.50	100.00	100.00	99.00	99.38	ML4	98.00	98.50	97.00	99.00	98.13
MA5	100.00	99.00	99.50	101.00	99.88	ML5	98.50	97.00	99.00	97.00	97.88
MA6	98.00	99.00	98.50	97.00	98.13	ML6	97.00	97.00	98.00	97.00	97.25
MA7	99.50	99.00	100.00	99.50	99.50	ML7	97.00	97.00	97.50	97.00	97.13
MA8	100.00	98.00	98.00	99.00	98.75	ML8	99.00	98.00	99.00	100.00	99.00
MA9	97.50	99.50	97.00	99.00	98.25	ML9	98.00	97.00	98.00	97.00	97.50
MA10	98.00	99.00	100.50	99.00	99.13	ML10	100.00	97.00	98.00	97.00	98.00
MA11	97.00	101.00	99.00	99.50	99.13	ML11	100.00	98.00	99.50	99.00	99.13
MA12	98.50	97.00	98.00	99.00	98.13	ML12	98.00	97.50	97.00	99.00	97.88
MA13	99.00	100.00	98.00	101.00	99.50	ML13	97.50	97.50	97.50	97.00	97.38
MA14	100.00	99.00	100.00	98.50	99.38	ML14	97.00	98.50	98.00	97.00	97.63
MA15	100.00	99.00	98.00	100.50	99.38	ML15	97.00	97.50	99.00	98.00	97.88
Alto efectivo promedio (mm)					99.18	Alto efectivo promedio (mm)					97.87
Alto de fábrica (mm)					100.00	Alto de fábrica (mm)					100.00
Desviación estándar (σ)					0.68	Desviación estándar (σ)					0.57
Coefficiente de variación (%)					0.69	Coefficiente de variación (%)					0.58
Variación dimensional (%)					0.83	Variación dimensional (%)					2.13

Tabla 33. Ensayo de alabeo para los especímenes de la ladrillera Aguilar

Especímen	Cara A		Cara B		Alabeo convexo (mm)	Alabeo cóncavo (mm)
	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)		
MA1	1.5	0.5	0.5	0.0	1.0	0.3
MA2	2.0	0.0	0.5	0.0	1.3	0.0
MA3	1.0	1.0	0.0	0.5	0.5	0.8
MA4	1.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0
MA5	1.0	0.0	0.5	0.0	0.8	0.0
MA6	2.0	0.5	0.0	0.5	1.0	0.5
MA7	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0
MA8	0.5	1.0	0.5	0.0	0.5	0.5
MA9	3.0	1.0	2.0	0.0	2.5	0.5
MA10	2.5	0.5	0.5	0.0	1.5	0.3
MA11	1.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.3
MA12	1.5	0.0	2.5	0.0	2.0	0.0
MA13	1.5	0.5	1.5	0.0	1.5	0.3
MA14	1.5	2.0	0.5	0.0	1.0	1.0
MA15	1.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.3
Alabeo promedio convexo (mm)					1.07	
Alabeo promedio cóncavo (mm)					0.30	

Tabla 34. Ensayo de alabeo para los especímenes de la ladrillera Lezama

Especímen	Cara A		Cara B		Promedio convexo (mm)	Promedio cóncavo (mm)
	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)		
ML1	2.0	0.0	1.5	0.0	1.8	0.0
ML2	2.0	0.5	0.5	0.0	1.3	0.3
ML3	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0
ML4	2.0	0.5	1.0	0.0	1.5	0.3
ML5	3.0	2.0	1.5	0.0	2.3	1.0
ML6	2.5	0.0	0.5	0.0	1.5	0.0
ML7	1.5	0.0	2.0	0.0	1.8	0.0
ML8	3.0	1.0	0.5	0.5	1.8	0.8
ML9	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0
ML10	3.5	1.0	0.5	0.0	2.0	0.5
ML11	1.0	0.0	1.0	0.5	1.0	0.3
ML12	3.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0
ML13	2.0	0.5	1.5	0.0	1.8	0.3
ML14	3.0	0.5	0.5	0.5	1.8	0.5
ML15	3.5	0.5	1.0	0.0	2.3	0.3
Alabeo promedio convexo (mm)					1.73	
Alabeo promedio cóncavo (mm)					0.27	

Tabla 35. Ensayo de compresión axial para los especímenes de la ladrillera Aguilar

Especímen	Peso (kg)	Dimensiones				Resistencia a compresión			
		Longitud promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)	Área promedio (cm ²)	Carga máxima (Tn)	Carga máxima (Kgf)	f ['] b (MPA)	f ['] b (Kg/cm ²)
MA1	7.221	242.00	140.88	98.75	340.92	26.00	26000.00	7.48	76.26
MA2	7.200	238.25	140.75	99.88	335.34	24.00	24000.00	7.02	71.57
MA3	7.285	240.13	140.63	100.50	337.68	24.50	24500.00	7.12	72.55
MA4	7.366	241.25	140.50	99.38	338.96	23.50	23500.00	6.80	69.33
MA5	7.345	239.75	139.75	99.88	335.05	25.50	25500.00	7.46	76.11
MA6	7.114	239.25	140.88	98.38	337.04	22.00	22000.00	6.40	65.27
MA7	7.349	239.88	140.88	99.50	337.92	23.00	23000.00	6.67	68.06
MA8	7.325	240.75	140.25	98.75	337.65	23.00	23000.00	6.68	68.12
MA9	7.105	239.50	140.88	98.25	337.40	26.00	26000.00	7.56	77.06
MA10	7.026	238.50	140.63	99.13	335.39	24.00	24000.00	7.02	71.56
MA11	7.088	240.00	139.63	99.13	335.10	25.00	25000.00	7.32	74.60
MA12	7.125	240.50	139.75	98.63	336.10	23.50	23500.00	6.86	69.92
MA13	7.207	239.00	141.00	99.50	336.99	22.00	22000.00	6.40	65.28
MA14	7.068	238.25	140.75	99.38	335.34	24.50	24500.00	7.16	73.06
MA15	7.350	239.13	140.25	99.50	335.37	25.50	25500.00	7.46	76.03
Resistencia unitaria promedio a compresión (fb)								7.03	71.65
Desviación estándar (σ)								0.39	3.93
Resistencia característica a compresión axial (f[']b)								6.64	67.72
Coefficiente de variación (%)								5.48	5.48

Tabla 36. Ensayo de compresión axial para los especímenes de la ladrillera Lezama

Especímen	Peso (kg)	Dimensiones				Resistencia a compresión			
		Longitud promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)	Área promedio (cm ²)	Carga máxima (Tn)	Carga máxima (Kgf)	f'b (MPA)	f'b (Kg/cm ²)
ML1	7.210	240.25	141.13	98.13	339.05	31.50	31500.00	9.11	92.91
ML2	7.204	240.63	140.75	97.63	338.68	32.50	32500.00	9.41	95.96
ML3	7.254	241.38	139.50	97.50	336.72	35.00	35000.00	10.19	103.94
ML4	7.381	241.00	140.25	98.13	338.00	32.00	32000.00	9.28	94.67
ML5	7.299	241.63	140.63	97.88	339.79	34.00	34000.00	9.81	100.06
ML6	7.325	240.38	140.38	97.25	337.43	36.50	36500.00	10.61	108.17
ML7	7.332	241.75	139.50	97.13	337.24	32.50	32500.00	9.45	96.37
ML8	7.120	240.50	140.00	99.00	336.70	32.50	32500.00	9.47	96.53
ML9	7.321	240.13	141.13	97.50	338.88	33.00	33000.00	9.55	97.38
ML10	7.160	240.50	140.00	98.00	336.70	33.00	33000.00	9.61	98.01
ML11	7.230	239.63	139.75	99.13	334.88	31.50	31500.00	9.22	94.06
ML12	7.075	241.00	139.63	97.88	336.50	32.00	32000.00	9.33	95.10
ML13	7.126	240.88	140.75	97.38	339.03	33.00	33000.00	9.55	97.34
ML14	7.033	241.25	140.13	97.63	338.05	33.50	33500.00	9.72	99.10
ML15	7.056	240.63	140.25	97.88	337.48	34.00	34000.00	9.88	100.75
Resistencia unitaria promedio a compresión (fb)								9.61	98.02
Desviación estándar (σ)								0.39	3.99
Resistencia característica a compresión axial (f'b)								9.22	94.04
Coefficiente de variación (%)								4.07	4.07

Tabla 37. Ensayo de absorción para los especímenes de la ladrillera Aguilar

Espécimen	Peso recibido (gr)	Peso seco (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso saturado (gr)	Absorción (kg/m³)	Absorción (%)	Contenido de humedad (%)	Densidad (kg/m³)
MA1	7096.00	6915.00	4125.00	7412.00	151.20	7.19	36.42	2103.74
MA2	7064.00	6920.00	4073.00	7415.00	148.11	7.15	29.09	2070.62
MA3	7215.00	7017.00	4143.00	7524.00	149.96	7.23	39.05	2075.42
MA4	7054.00	6862.00	4134.00	7357.00	153.58	7.21	38.79	2129.07
MA5	6973.00	6870.00	4017.00	7296.00	129.92	6.20	24.18	2095.15
MA6	7002.00	6825.00	4096.00	7306.00	149.84	7.05	36.80	2126.17
MA7	7077.00	6890.00	4174.00	7484.00	179.46	8.62	31.48	2081.57
MA8	6997.00	6866.00	3995.00	7299.00	131.05	6.31	30.25	2078.09
MA9	7014.00	6891.00	3950.00	7307.00	123.92	6.04	29.57	2052.73
MA10	7040.00	6882.00	4062.00	7387.00	151.88	7.34	31.29	2069.77
MA11	7069.00	6915.00	4178.00	7429.00	158.11	7.43	29.96	2127.04
MA12	7137.00	6956.00	4102.00	7483.00	155.87	7.58	34.35	2057.38
MA13	7086.00	6893.00	4155.00	7398.00	155.72	7.33	38.22	2125.50
MA14	7175.00	7010.00	4159.00	7504.00	147.68	7.05	33.40	2095.67
MA15	7182.00	7031.00	4126.00	7441.00	123.68	5.83	36.83	2120.97
Promedio					147.33	7.04	33.31	2093.93
Desviación estándar					14.77	0.70	4.36	26.87
Coefficiente de variación (%)					10.03	9.99	13.07	1.28

Tabla 38. Ensayo de absorción para los especímenes de la ladrillera Lezama

Espécimen	Peso recibido (gr)	Peso seco (gr)	Peso sumergido (gr)	Peso saturado (gr)	Absorción (kg/m³)	Absorción (%)	Contenido de humedad (%)	Densidad (kg/m³)
ML1	7013.00	6900.00	4005.00	7315.00	125.38	6.01	27.23	2084.59
ML2	7015.00	6900.00	4010.00	7402.00	148.00	7.28	22.91	2034.20
ML3	7126.00	6998.00	3937.00	7404.00	117.10	5.80	31.53	2018.46
ML4	7017.00	6856.00	4020.00	7342.00	146.30	7.09	33.13	2063.82
ML5	7145.00	7012.00	4165.00	7492.00	144.27	6.85	27.71	2107.60
ML6	7022.00	6890.00	4023.00	7306.00	126.71	6.04	31.73	2098.69
ML7	7218.00	7098.00	4223.00	7602.00	149.16	7.10	23.81	2100.62
ML8	7235.00	7127.00	4135.00	7571.00	129.22	6.23	24.32	2074.21
ML9	7140.00	7004.00	4030.00	7421.00	122.97	5.95	32.61	2065.47
ML10	7112.00	6947.00	4027.00	7473.00	152.64	7.57	31.37	2015.96
ML11	7110.00	6985.00	4055.00	7425.00	130.56	6.30	28.41	2072.70
ML12	7177.00	7055.00	4221.00	7527.00	142.77	6.69	25.85	2134.00
ML13	7182.00	7082.00	4102.00	7512.00	126.10	6.07	23.26	2076.83
ML14	7110.00	6995.00	3990.00	7369.00	110.68	5.35	30.75	2070.14
ML15	7109.00	6975.00	3987.00	7410.00	127.08	6.24	30.80	2037.69
Promedio					133.26	6.44	28.36	2070.33
Desviación estándar					12.88	0.63	3.62	33.29
Coefficiente de variación (%)					9.66	9.72	12.77	1.61

Tabla 39. Ensayo de succión para los especímenes de la ladrillera Aguilar

Espécimen	Peso seco (gr)	Peso mojado (gr)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm²)	Succión (gr/min/200cm²)
MA1	7011.00	7031.00	24.10	14.20	342.22	11.69
MA2	6970.00	6994.00	23.90	14.10	336.99	14.24
MA3	6927.00	6949.00	24.05	14.20	341.51	12.88
MA4	7018.00	7040.00	24.00	14.10	338.40	13.00
MA5	6940.00	6961.00	23.90	14.20	339.38	12.38
MA6	7038.00	7059.00	23.80	14.10	335.58	12.52
MA7	7066.00	7090.00	24.10	14.10	339.81	14.13
MA8	7030.00	7056.00	23.90	14.20	339.38	15.32
MA9	6917.00	6943.00	24.00	14.20	340.80	15.26
MA10	6921.00	6944.00	24.00	14.10	338.40	13.59
MA11	6895.00	6918.00	24.15	14.05	339.31	13.56
MA12	6955.00	6980.00	24.10	14.10	339.81	14.71
MA13	7040.00	7062.00	24.10	14.20	342.22	12.86
MA14	7025.00	7048.00	24.00	14.15	339.60	13.55
MA15	6995.00	7021.00	24.15	14.10	340.52	15.27
Succión promedio						13.66
Desviación estándar						1.14
Coefficiente de variación (%)						8.33

Tabla 40. Ensayo de succión para los especímenes de la ladrillera Lezama

Espécimen	Peso seco (gr)	Peso mojado (gr)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm²)	Succión (gr/min/200cm²)
ML1	6915.00	6933.00	24.00	14.10	338.40	10.64
ML2	6874.00	6895.00	24.10	14.10	339.81	12.36
ML3	6900.00	6921.00	24.05	14.10	339.11	12.39
ML4	6966.00	6988.00	24.10	14.20	342.22	12.86
ML5	7063.00	7087.00	24.00	14.05	337.20	14.23
ML6	6861.00	6880.00	24.20	14.00	338.80	11.22
ML7	6982.00	7005.00	24.00	13.90	333.60	13.79
ML8	6912.00	6937.00	24.20	14.20	343.64	14.55
ML9	7042.00	7061.00	24.20	14.10	341.22	11.14
ML10	6970.00	6993.00	24.10	14.20	342.22	13.44
ML11	6991.00	7012.00	24.00	14.00	336.00	12.50
ML12	6884.00	6907.00	24.15	14.10	340.52	13.51
ML13	6897.00	6921.00	24.05	14.10	339.11	14.15
ML14	7015.00	7038.00	24.10	14.20	342.22	13.44
ML15	6879.00	6901.00	24.10	13.95	336.20	13.09
Succión promedio						12.89
Desviación estándar						1.18
Coefficiente de variación (%)						9.19

ANEXO II: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN PILAS

1) RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL ($f'm$)

Tabla 41. Resistencia a compresión axial en pilas de la ladrillera Aguilar

Espécimen	Dimensiones			Resistencia a compresión axial en pilas					
	Largo de pila "L" (cm)	Altura de pila "H" (cm)	Espesor de pila "t" (cm)	Esbeltez	Factor de corrección F_c	Carga máxima (Kgf)	Área (cm ²)	Resistencia a compresión axial " f_m " (kg/cm ²)	Resistencia a compresión axial corregida (kg/cm ²)
PA1	24.10	33.45	14.20	2.36	0.780	17500.00	342.22	51.14	39.88
PA2	24.20	33.85	14.10	2.40	0.786	14000.00	341.22	41.03	32.25
PA3	24.00	33.15	14.20	2.33	0.777	15500.00	340.80	45.48	35.33
PA4	24.10	33.50	14.05	2.38	0.784	14000.00	338.61	41.35	32.41
PA5	24.25	33.30	14.00	2.38	0.783	17600.00	339.50	51.84	40.59
PA6	24.20	33.35	14.20	2.35	0.779	17500.00	343.64	50.93	39.66
PA7	24.00	33.45	13.90	2.41	0.787	16900.00	333.60	50.66	39.86
PA8	24.20	33.20	14.15	2.35	0.778	15000.00	342.43	43.80	34.10
PA9	24.20	33.20	14.10	2.35	0.780	17000.00	341.22	49.82	38.84
PA10	24.00	33.10	14.10	2.35	0.779	17000.00	338.40	50.24	39.12
Resistencia a compresión axial corregida promedio (f_m)									37.20
Desviación estándar (σ)									3.31
Resistencia característica a compresión axial ($f'm$)									33.89
Coefficiente de variación (%)									8.90

Tabla 42. Resistencia a compresión axial en pilas de la ladrillera Lezama

Espécimen	Dimensiones			Resistencia a compresión axial en pilas					
	Largo de pila "L" (cm)	Altura de pila "H" (cm)	Espesor de pila "t" (cm)	Esbeltez	Factor de corrección Fc	Carga máxima (Kgf)	Área (cm ²)	Resistencia a compresión axial "fm" (kg/cm ²)	Resistencia a compresión axial corregida (kg/cm ²)
PL1	23.80	33.55	14.20	2.36	0.781	16700.00	337.96	49.41	38.58
PL2	24.05	33.45	14.20	2.36	0.780	17500.00	341.51	51.24	39.96
PL3	24.20	33.30	14.20	2.35	0.778	15600.00	343.64	45.40	35.33
PL4	24.00	33.25	14.05	2.37	0.781	17000.00	337.20	50.42	39.39
PL5	23.95	33.50	14.25	2.35	0.779	16500.00	341.29	48.35	37.67
PL6	24.15	33.05	14.20	2.33	0.776	16500.00	342.93	48.11	37.33
PL7	24.00	33.60	14.25	2.36	0.780	16000.00	342.00	46.78	36.50
PL8	23.90	33.00	14.15	2.33	0.777	17200.00	338.19	50.86	39.49
PL9	24.20	33.70	14.20	2.37	0.782	15700.00	343.64	45.69	35.74
PL10	23.90	33.40	14.15	2.36	0.780	17800.00	338.19	52.63	41.08
Resistencia a compresión axial corregida promedio (fm)									38.11
Desviación estándar (σ)									1.91
Resistencia característica a compresión axial (f'm)									36.20
Coefficiente de variación (%)									5.01

2) MÓDULO DE ELASTICIDAD (Em)

Tabla 43. Módulo de elasticidad en pilas de la ladrillera Aguilar

Especimen	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo último (δ)		Deformación unitaria (ϵ)		Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
		$\delta_{10\%}$	$\delta_{50\%}$	$\epsilon_{10\%}$	$\epsilon_{50\%}$	
PA-1	39.89	3.99	19.94	0.000431	0.003037	6122.28
PA-2	32.25	3.22	16.12	0.000272	0.001711	8964.28
PA-3	35.34	3.53	17.67	0.000552	0.003043	5674.65
PA-4	32.42	3.24	16.21	0.000711	0.002557	7023.91
PA-5	40.59	4.06	20.30	0.000448	0.002284	8843.45
PA-6	39.67	3.97	19.84	0.000894	0.003212	6845.71
PA-7	39.87	3.99	19.93	0.000330	0.002074	9144.27
PA-8	34.08	3.41	17.04	0.000471	0.002649	6258.95
PA-9	38.86	3.89	19.43	0.000502	0.002897	6490.28
PA-10	39.13	3.91	19.57	0.000341	0.001821	10576.80
Em promedio						7594.46

Tabla 44. Módulo de elasticidad en pilas de la ladrillera Lezama

Especimen	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo último (δ)		Deformación unitaria (ϵ)		Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
		$\delta_{10\%}$	$\delta_{50\%}$	$\epsilon_{10\%}$	$\epsilon_{50\%}$	
PL-1	38.59	3.86	19.30	0.000412	0.002241	8440.58
PL-2	39.97	4.00	19.98	0.000456	0.001809	11816.57
PL-3	35.32	3.53	17.66	0.000277	0.001668	10156.25
PL-4	39.37	3.94	19.69	0.000454	0.001739	12256.58
PL-5	37.66	3.77	18.83	0.000391	0.002001	9356.97
PL-6	37.34	3.73	18.67	0.000497	0.002435	7706.31
PL-7	36.49	3.65	18.25	0.000362	0.002321	7450.99
PL-8	39.52	3.95	19.76	0.000638	0.003081	6470.41
PL-9	35.73	3.57	17.86	0.000314	0.002015	8401.53
PL-10	41.05	4.11	20.53	0.000324	0.001780	11278.70
Em promedio						9333.49

3) ESFUERZO Y DEFORMACIÓN UNITARIA EN PILAS DE LA LADRILLERA AGUILAR

Tabla 45. Esfuerzo y deformación unitaria PA-2

PA-2		Largo (cm)		24.20	
		Altura (cm)		33.85	
		Espesor (cm)		14.10	
		Área (cm ²)		341.22	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.786	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.020	0.786	0.00006	2.30
2.00	2000.00	0.140	0.786	0.00041	4.61
3.00	3000.00	0.250	0.786	0.00074	6.91
4.00	4000.00	0.320	0.786	0.00095	9.21
5.00	5000.00	0.400	0.786	0.00118	11.52
6.00	6000.00	0.490	0.786	0.00145	13.82
7.00	7000.00	0.580	0.786	0.00171	16.12
8.00	8000.00	0.670	0.786	0.00198	18.43
9.00	9000.00	0.750	0.786	0.00222	20.73
10.00	10000.00	0.870	0.786	0.00257	23.03
11.00	11000.00	0.980	0.786	0.00290	25.34
12.00	12000.00	1.110	0.786	0.00328	27.64
13.00	13000.00	1.240	0.786	0.00366	29.95
14.00	14000.00	2.150	0.786	0.00635	32.25

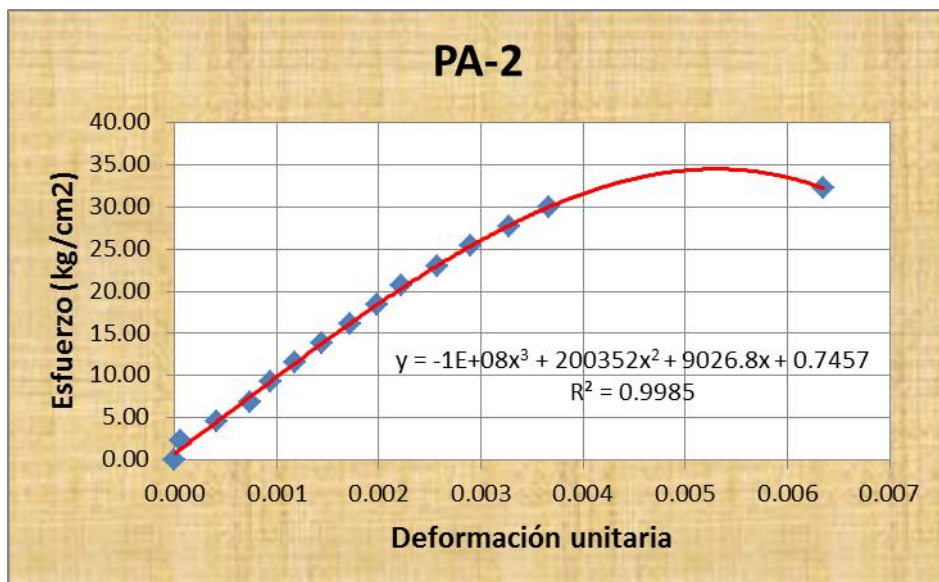


Gráfico 6. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-2.

Tabla 46. Esfuerzo y deformación unitaria PA-5

PA-5		Largo (cm)		24.25	
		Altura (cm)		33.30	
		Espesor (cm)		14.00	
		Área (cm ²)		339.50	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.783	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.020	0.783	0.00006	2.31
2.00	2000.00	0.180	0.783	0.00054	4.61
3.00	3000.00	0.300	0.783	0.00090	6.92
4.00	4000.00	0.380	0.783	0.00114	9.23
5.00	5000.00	0.450	0.783	0.00135	11.53
6.00	6000.00	0.520	0.783	0.00156	13.84
7.00	7000.00	0.610	0.783	0.00183	16.14
8.00	8000.00	0.690	0.783	0.00207	18.45
9.00	9000.00	0.760	0.783	0.00228	20.76
10.00	10000.00	0.840	0.783	0.00252	23.06
11.00	11000.00	0.930	0.783	0.00279	25.37
12.00	12000.00	1.050	0.783	0.00315	27.68
13.00	13000.00	1.150	0.783	0.00345	29.98
14.00	14000.00	1.250	0.783	0.00375	32.29
15.00	15000.00	1.370	0.783	0.00411	34.59
16.00	16000.00	1.530	0.783	0.00459	36.90
17.00	17000.00	1.740	0.783	0.00523	39.21
17.60	17600.00	2.700	0.783	0.00811	40.59

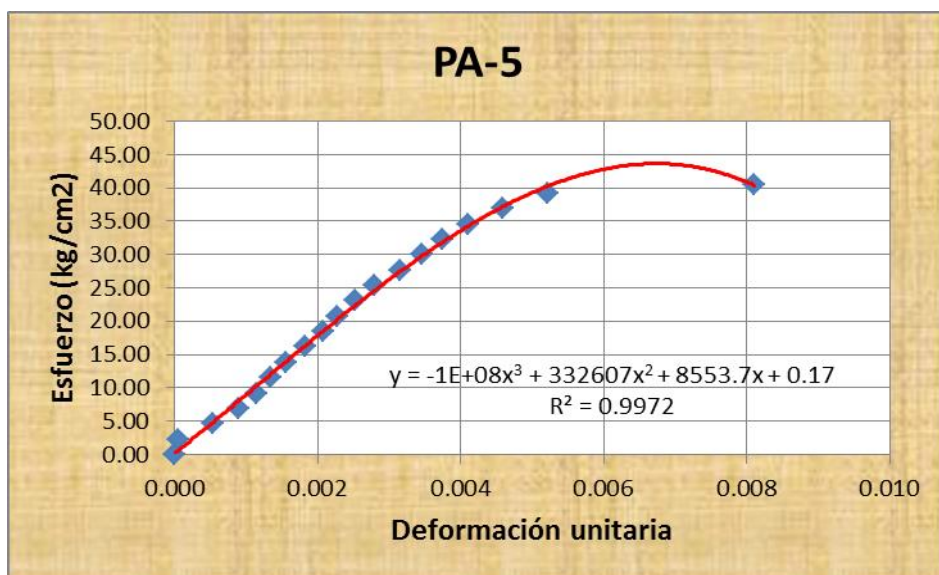


Gráfico 7. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-5.

Tabla 47. Esfuerzo y deformación unitaria PA-6

PA-6		Largo (cm)		24.20	
		Altura (cm)		33.35	
		Espesor (cm)		14.20	
		Área (cm ²)		343.64	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.779	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.080	0.779	0.00024	2.27
2.00	2000.00	0.350	0.779	0.00105	4.53
3.00	3000.00	0.470	0.779	0.00141	6.80
4.00	4000.00	0.580	0.779	0.00174	9.07
5.00	5000.00	0.700	0.779	0.00210	11.33
6.00	6000.00	0.800	0.779	0.00240	13.60
7.00	7000.00	0.950	0.779	0.00285	15.87
8.00	8000.00	1.020	0.779	0.00306	18.14
9.00	9000.00	1.100	0.779	0.00330	20.40
10.00	10000.00	1.190	0.779	0.00357	22.67
11.00	11000.00	1.280	0.779	0.00384	24.94
12.00	12000.00	1.370	0.779	0.00411	27.20
13.00	13000.00	1.460	0.779	0.00438	29.47
14.00	14000.00	1.580	0.779	0.00474	31.74
15.00	15000.00	1.660	0.779	0.00498	34.00
16.00	16000.00	1.810	0.779	0.00543	36.27
17.00	17000.00	2.130	0.779	0.00639	38.54
17.50	17500.00	2.860	0.779	0.00858	39.67

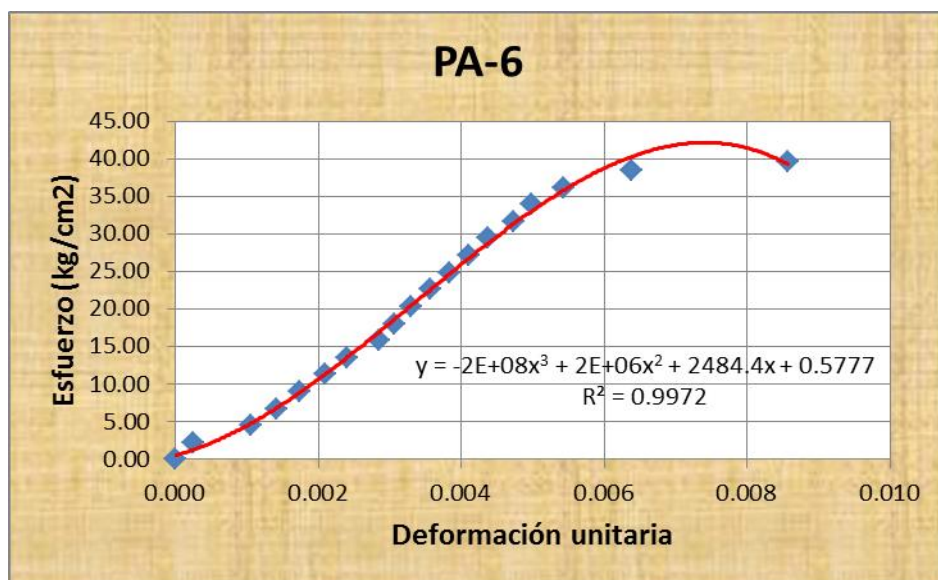


Gráfico 8. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-6.

Tabla 48. Esfuerzo y deformación unitaria PA-7

PA-7		Largo (cm)		24.00	
		Altura (cm)		33.45	
		Espesor (cm)		13.90	
		Área (cm ²)		333.60	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.787	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.010	0.787	0.00003	2.36
2.00	2000.00	0.120	0.787	0.00036	4.72
3.00	3000.00	0.230	0.787	0.00069	7.08
4.00	4000.00	0.320	0.787	0.00096	9.44
5.00	5000.00	0.410	0.787	0.00123	11.80
6.00	6000.00	0.500	0.787	0.00149	14.15
7.00	7000.00	0.580	0.787	0.00173	16.51
8.00	8000.00	0.660	0.787	0.00197	18.87
9.00	9000.00	0.720	0.787	0.00215	21.23
10.00	10000.00	0.800	0.787	0.00239	23.59
11.00	11000.00	0.890	0.787	0.00266	25.95
12.00	12000.00	1.070	0.787	0.00320	28.31
13.00	13000.00	1.180	0.787	0.00353	30.67
14.00	14000.00	1.300	0.787	0.00389	33.03
15.00	15000.00	1.460	0.787	0.00436	35.39
16.00	16000.00	1.630	0.787	0.00487	37.75
16.90	16900.00	2.760	0.787	0.00825	39.87

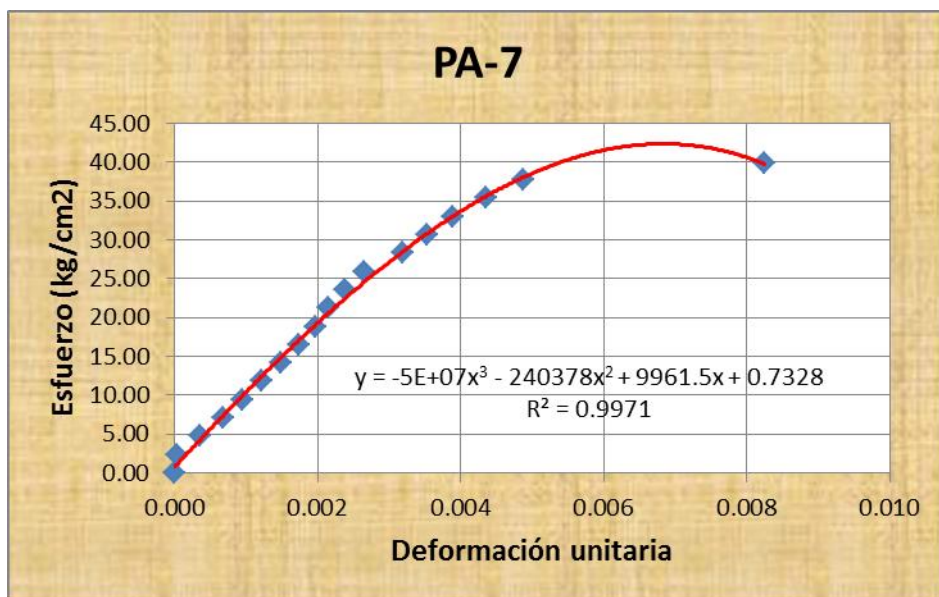


Gráfico 9. Esfuerzo vs deformación unitaria en PA-7.

4) ESFUERZO Y DEFORMACIÓN UNITARIA EN PILAS DE LA LADRILLERA LEZAMA

Tabla 49. Esfuerzo y deformación unitaria PL-1

PL-1		Largo (cm)	23.80		
		Altura (cm)	33.55		
		Espesor (cm)	14.20		
		Área (cm ²)	337.96		
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.781	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.030	0.781	0.00009	2.31
2.00	2000.00	0.160	0.781	0.00048	4.62
3.00	3000.00	0.250	0.781	0.00075	6.93
4.00	4000.00	0.360	0.781	0.00107	9.24
5.00	5000.00	0.450	0.781	0.00134	11.55
6.00	6000.00	0.550	0.781	0.00164	13.87
7.00	7000.00	0.650	0.781	0.00194	16.18
8.00	8000.00	0.740	0.781	0.00221	18.49
9.00	9000.00	0.800	0.781	0.00238	20.80
10.00	10000.00	0.900	0.781	0.00268	23.11
11.00	11000.00	1.000	0.781	0.00298	25.42
12.00	12000.00	1.100	0.781	0.00328	27.73
13.00	13000.00	1.180	0.781	0.00352	30.04
14.00	14000.00	1.260	0.781	0.00376	32.35
15.00	15000.00	1.380	0.781	0.00411	34.66
16.00	16000.00	1.540	0.781	0.00459	36.97
16.70	16700.00	2.000	0.781	0.00596	38.59

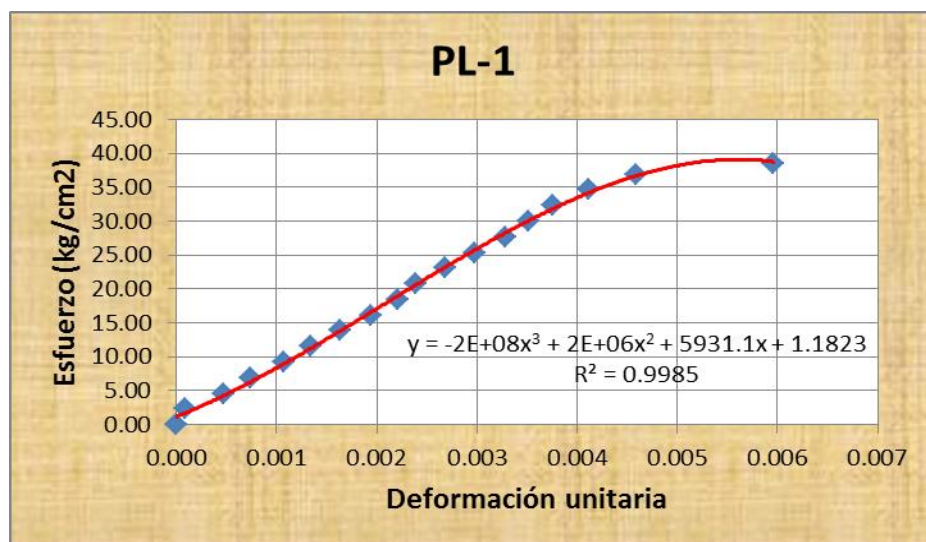


Gráfico 10. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-1.

Tabla 50. Esfuerzo y deformación unitaria PL-5

PL-5		Largo (cm)		23.95	
		Altura (cm)		33.50	
		Espesor (cm)		14.25	
		Área (cm ²)		341.29	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.779	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.020	0.779	0.00006	2.28
2.00	2000.00	0.150	0.779	0.00045	4.57
3.00	3000.00	0.280	0.779	0.00084	6.85
4.00	4000.00	0.340	0.779	0.00101	9.13
5.00	5000.00	0.410	0.779	0.00122	11.41
6.00	6000.00	0.500	0.779	0.00149	13.70
7.00	7000.00	0.580	0.779	0.00173	15.98
8.00	8000.00	0.650	0.779	0.00194	18.26
9.00	9000.00	0.730	0.779	0.00218	20.54
10.00	10000.00	0.800	0.779	0.00239	22.83
11.00	11000.00	0.890	0.779	0.00266	25.11
12.00	12000.00	0.970	0.779	0.00290	27.39
13.00	13000.00	1.040	0.779	0.00310	29.67
14.00	14000.00	1.120	0.779	0.00334	31.96
15.00	15000.00	1.230	0.779	0.00367	34.24
16.00	16000.00	1.400	0.779	0.00418	36.52
16.50	16500.00	2.200	0.779	0.00657	37.66

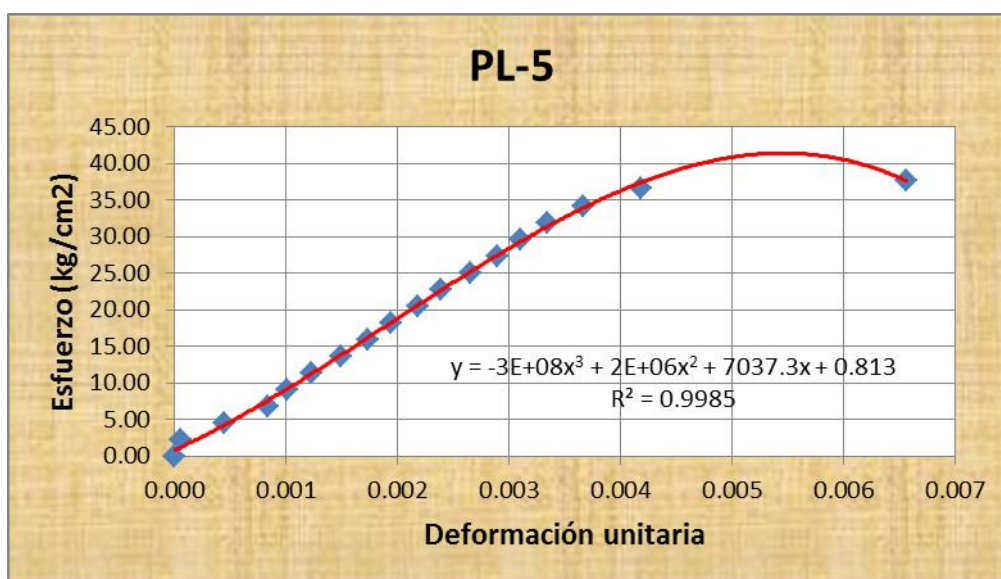


Gráfico 11. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-5.

Tabla 51. Esfuerzo y deformación unitaria PL-7

PL-7		Largo (cm)		24.00	
		Altura (cm)		33.60	
		Espesor (cm)		14.25	
		Área (cm ²)		342.00	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.780	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.020	0.780	0.00006	2.28
2.00	2000.00	0.140	0.780	0.00042	4.56
3.00	3000.00	0.260	0.780	0.00077	6.84
4.00	4000.00	0.370	0.780	0.00110	9.12
5.00	5000.00	0.470	0.780	0.00140	11.40
6.00	6000.00	0.560	0.780	0.00167	13.68
7.00	7000.00	0.690	0.780	0.00205	15.96
8.00	8000.00	0.800	0.780	0.00238	18.25
9.00	9000.00	0.900	0.780	0.00268	20.53
10.00	10000.00	1.000	0.780	0.00298	22.81
11.00	11000.00	1.120	0.780	0.00333	25.09
12.00	12000.00	1.210	0.780	0.00360	27.37
13.00	13000.00	1.300	0.780	0.00387	29.65
14.00	14000.00	1.390	0.780	0.00414	31.93
15.00	15000.00	1.580	0.780	0.00470	34.21
16.00	16000.00	2.300	0.780	0.00685	36.49

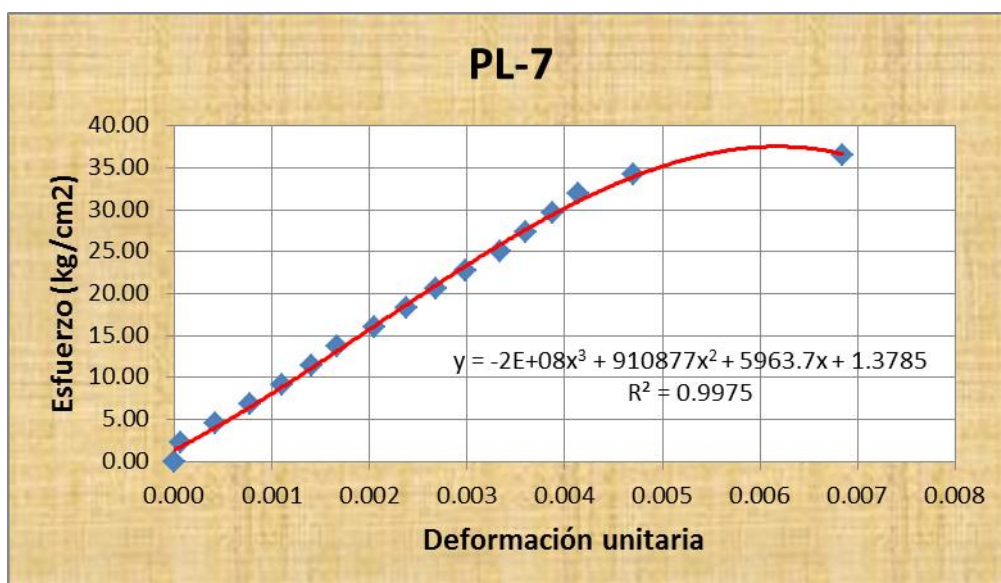


Gráfico 12. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-7.

Tabla 52. Esfuerzo y deformación unitaria PL-10

PL-10		Largo (cm)		23.90	
		Altura (cm)		33.40	
		Espesor (cm)		14.15	
		Área (cm ²)		338.19	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Factor de corrección	Deformación unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.780	0.00000	0.00
1.00	1000.00	0.030	0.780	0.00009	2.31
2.00	2000.00	0.110	0.780	0.00033	4.61
3.00	3000.00	0.200	0.780	0.00060	6.92
4.00	4000.00	0.260	0.780	0.00078	9.23
5.00	5000.00	0.330	0.780	0.00099	11.53
6.00	6000.00	0.400	0.780	0.00120	13.84
7.00	7000.00	0.470	0.780	0.00141	16.15
8.00	8000.00	0.550	0.780	0.00165	18.45
9.00	9000.00	0.610	0.780	0.00183	20.76
10.00	10000.00	0.690	0.780	0.00207	23.06
11.00	11000.00	0.760	0.780	0.00228	25.37
12.00	12000.00	0.830	0.780	0.00249	27.68
13.00	13000.00	0.900	0.780	0.00269	29.98
14.00	14000.00	0.980	0.780	0.00293	32.29
15.00	15000.00	1.070	0.780	0.00320	34.60
16.00	16000.00	1.150	0.780	0.00344	36.90
17.00	17000.00	1.490	0.780	0.00446	39.21
17.80	17800.00	2.400	0.780	0.00719	41.05

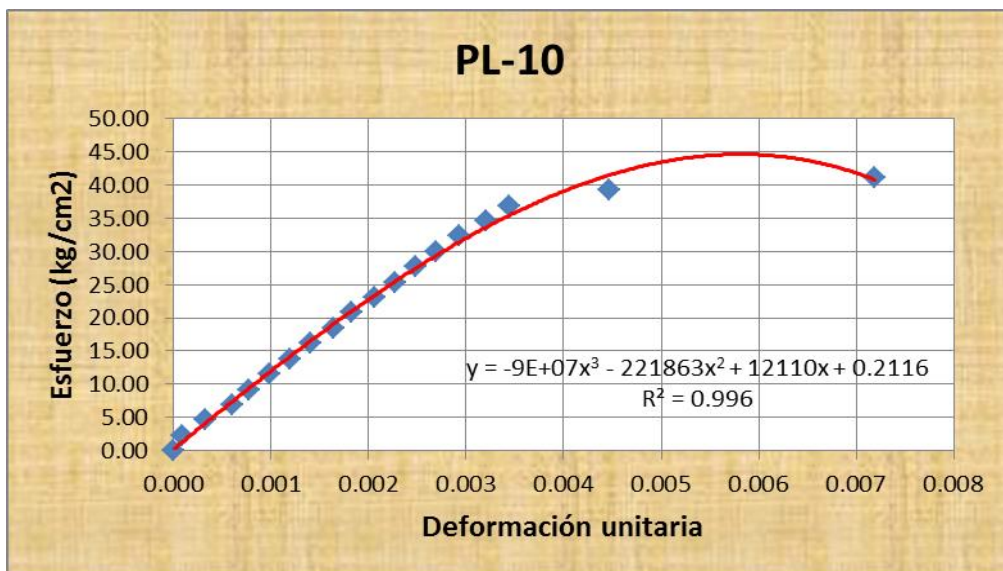


Gráfico 13. Esfuerzo vs deformación unitaria en PL-10.

ANEXO III: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN MURETES

1) RESISTENCIA AL CORTE O A LA COMPRESIÓN DIAGONAL ($\bar{v}m$)

Tabla 53. Resistencia al corte en muretes de la ladrillera Aguilar

Espécimen	Resistencia a la compresión diagonal					Resistencia al corte (vm) (kg/cm ²)
	Dimensiones			Carga máxima (kgf)	Área bruta (cm ²)	
	Largo de murete (cm)	Altura de murete (cm)	Espesor de murete (cm)			
MT-A1	67.30	67.50	14.10	8700.00	950.34	9.15
MT-A2	67.80	67.50	14.20	8100.00	960.63	8.43
MT-A3	67.40	67.60	13.90	7800.00	938.25	8.31
MT-A4	67.50	67.70	14.00	9200.00	946.40	9.72
MT-A5	67.40	67.50	14.00	8900.00	944.30	9.42
Resistencia al corte promedio (vm)						9.01
Desviación estándar (σ)						0.62
Resistencia característica al corte ($\bar{v}m$)						8.39
Coeficiente de variación (%)						6.84

Tabla 54. Resistencia al corte en muretes de la ladrillera Lezama

Espécimen	Resistencia a la compresión diagonal					Resistencia al corte (vm) (kg/cm ²)
	Dimensiones			Carga máxima (kgf)	Área bruta (cm ²)	
	Largo de murete (cm)	Altura de murete (cm)	Espesor de murete (cm)			
MT-L1	67.55	67.60	14.05	9600.00	949.43	10.11
MT-L2	68.00	67.50	13.95	9300.00	945.11	9.84
MT-L3	67.70	67.60	14.10	8800.00	953.87	9.23
MT-L4	67.40	67.80	14.00	9900.00	946.40	10.46
MT-L5	67.80	67.50	14.20	10600.00	960.63	11.03
Resistencia al corte promedio (vm)						10.13
Desviación estándar (σ)						0.68
Resistencia característica al corte ($\bar{v}m$)						9.46
Coeficiente de variación (%)						6.67

2) MÓDULO DE CORTE (Gm)

Tabla 55. Módulo de corte en muretes de la ladrillera Aguilar

Especimen	Resistencia al corte (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante			Deformación angular			Módulo de Corte (Gm) (kg/cm ²)
		vm10%	vm50%	Δvm	Δγ10%	Δγ50%	Δγ	
MT-A1	9.15	0.92	4.58	3.66	0.000587	0.002358	0.001771	2067.67
MT-A2	8.43	0.84	4.22	3.37	0.000139	0.001517	0.001378	2447.60
MT-A3	8.31	0.83	4.16	3.33	0.000087	0.001445	0.001358	2448.70
MT-A4	9.72	0.97	4.86	3.89	0.000231	0.002520	0.002289	1698.74
MT-A5	9.42	0.94	4.71	3.77	0.000220	0.002173	0.001953	1930.36
Gm promedio								2118.61

Tabla 56. Módulo de corte en muretes de la ladrillera Lezama

Especimen	Resistencia al corte (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante			Deformación angular			Módulo de Corte (Gm) (kg/cm ²)
		vm10%	vm50%	Δvm	Δγ10%	Δγ50%	Δγ	
MT-L1	10.11	1.01	5.06	4.04	0.000550	0.003384	0.002834	1427.15
MT-L2	9.84	0.98	4.92	3.94	0.000111	0.002380	0.002269	1734.70
MT-L3	9.23	0.92	4.61	3.69	0.000342	0.002630	0.002288	1612.87
MT-L4	10.46	1.05	5.23	4.18	0.000126	0.002490	0.002364	1770.00
MT-L5	11.03	1.10	5.52	4.41	0.000229	0.003392	0.003163	1395.44
Gm promedio								1588.03

3) ESFUERZO CORTANTE Y DEFORMACIÓN ANGULAR EN MURETES DE LA LADRILLERA AGUILAR

Tabla 57. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-A1

MT-A1		Largo (cm)		67.30	
		Altura (cm)		67.50	
		Espesor (cm)		14.10	
		Área (cm ²)		950.34	
		Diagonal (g) (cm)		95.32	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación vertical (cm)	Deformación horizontal (cm)	Deformación angular	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00000	0.00
0.20	200.00	0.002	0.002	0.00004	0.21
0.40	400.00	0.005	0.003	0.00008	0.42
0.60	600.00	0.010	0.005	0.00016	0.63
0.80	800.00	0.035	0.010	0.00047	0.84
1.00	1000.00	0.040	0.015	0.00058	1.05
1.20	1200.00	0.050	0.020	0.00073	1.26
1.40	1400.00	0.065	0.040	0.00110	1.47
1.60	1600.00	0.070	0.045	0.00121	1.68
1.80	1800.00	0.073	0.050	0.00129	1.89
2.00	2000.00	0.075	0.055	0.00136	2.10
2.20	2200.00	0.076	0.057	0.00140	2.31
2.40	2400.00	0.078	0.057	0.00142	2.53
2.60	2600.00	0.079	0.058	0.00144	2.74
2.80	2800.00	0.090	0.064	0.00162	2.95
3.00	3000.00	0.095	0.067	0.00170	3.16
3.20	3200.00	0.098	0.070	0.00176	3.37
3.40	3400.00	0.099	0.080	0.00188	3.58
3.60	3600.00	0.100	0.095	0.00205	3.79
3.80	3800.00	0.105	0.098	0.00213	4.00
4.00	4000.00	0.108	0.098	0.00216	4.21
4.20	4200.00	0.116	0.100	0.00227	4.42
4.40	4400.00	0.120	0.103	0.00234	4.63
4.60	4600.00	0.125	0.108	0.00244	4.84
4.80	4800.00	0.130	0.115	0.00257	5.05
5.00	5000.00	0.135	0.120	0.00268	5.26
5.20	5200.00	0.137	0.124	0.00274	5.47
5.40	5400.00	0.140	0.128	0.00281	5.68
5.60	5600.00	0.150	0.130	0.00294	5.89
5.80	5800.00	0.155	0.140	0.00309	6.10
6.00	6000.00	0.160	0.140	0.00315	6.31

6.20	6200.00	0.165	0.140	0.00320	6.52
6.40	6400.00	0.167	0.143	0.00325	6.73
6.60	6600.00	0.170	0.149	0.00335	6.94
6.80	6800.00	0.175	0.156	0.00347	7.16
7.00	7000.00	0.180	0.160	0.00357	7.37
7.20	7200.00	0.185	0.170	0.00372	7.58
7.40	7400.00	0.188	0.185	0.00391	7.79
7.60	7600.00	0.190	0.198	0.00407	8.00
7.80	7800.00	0.200	0.205	0.00425	8.21
8.00	8000.00	0.205	0.203	0.00428	8.42
8.20	8200.00	0.210	0.238	0.00470	8.63
8.40	8400.00	0.220	0.245	0.00488	8.84
8.60	8600.00	0.225	0.245	0.00493	9.05
8.70	8700.00	0.260	0.256	0.00541	9.15

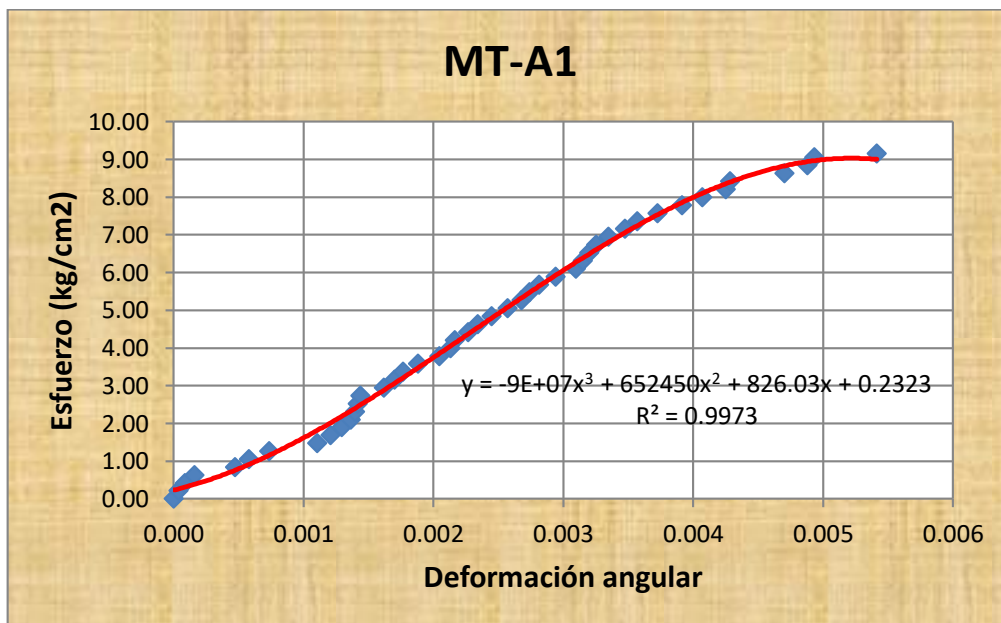


Gráfico 14. Esfuerzo vs deformación angular en MT-A1.

Tabla 58. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-A3

MT-A3		Largo (cm)		67.40	
		Altura (cm)		67.60	
		Espesor (cm)		13.90	
		Área (cm²)		938.25	
		Diagonal (g) (cm)		95.46	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación vertical (cm)	Deformación horizontal (cm)	Deformación angular	Esfuerzo cortante (kg/cm²)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00000	0.00
0.20	200.00	0.001	0.001	0.00002	0.21
0.40	400.00	0.002	0.002	0.00004	0.43
0.60	600.00	0.003	0.003	0.00006	0.64
0.80	800.00	0.005	0.004	0.00009	0.85
1.00	1000.00	0.005	0.005	0.00010	1.07
1.20	1200.00	0.006	0.007	0.00014	1.28
1.40	1400.00	0.010	0.009	0.00020	1.49
1.60	1600.00	0.015	0.012	0.00028	1.71
1.80	1800.00	0.020	0.014	0.00036	1.92
2.00	2000.00	0.024	0.017	0.00043	2.13
2.20	2200.00	0.042	0.021	0.00066	2.34
2.40	2400.00	0.051	0.028	0.00083	2.56
2.60	2600.00	0.051	0.030	0.00085	2.77
2.80	2800.00	0.054	0.033	0.00091	2.98
3.00	3000.00	0.059	0.037	0.00101	3.20
3.20	3200.00	0.061	0.045	0.00111	3.41
3.40	3400.00	0.066	0.049	0.00120	3.62
3.60	3600.00	0.070	0.052	0.00128	3.84
3.80	3800.00	0.078	0.058	0.00142	4.05
4.00	4000.00	0.085	0.067	0.00159	4.26
4.20	4200.00	0.089	0.071	0.00168	4.48
4.40	4400.00	0.095	0.075	0.00178	4.69
4.60	4600.00	0.099	0.075	0.00182	4.90
4.80	4800.00	0.103	0.080	0.00192	5.12
5.00	5000.00	0.111	0.085	0.00205	5.33
5.20	5200.00	0.113	0.091	0.00214	5.54
5.40	5400.00	0.119	0.098	0.00227	5.76
5.60	5600.00	0.123	0.104	0.00238	5.97
5.80	5800.00	0.126	0.108	0.00245	6.18
6.00	6000.00	0.130	0.109	0.00250	6.39
6.20	6200.00	0.138	0.115	0.00265	6.61
6.40	6400.00	0.145	0.121	0.00279	6.82
6.60	6600.00	0.148	0.129	0.00290	7.03
6.80	6800.00	0.155	0.136	0.00305	7.25

7.00	7000.00	0.162	0.143	0.00320	7.46
7.20	7200.00	0.170	0.149	0.00334	7.67
7.40	7400.00	0.180	0.159	0.00355	7.89
7.60	7600.00	0.188	0.170	0.00375	8.10
7.80	7800.00	0.209	0.195	0.00423	8.31

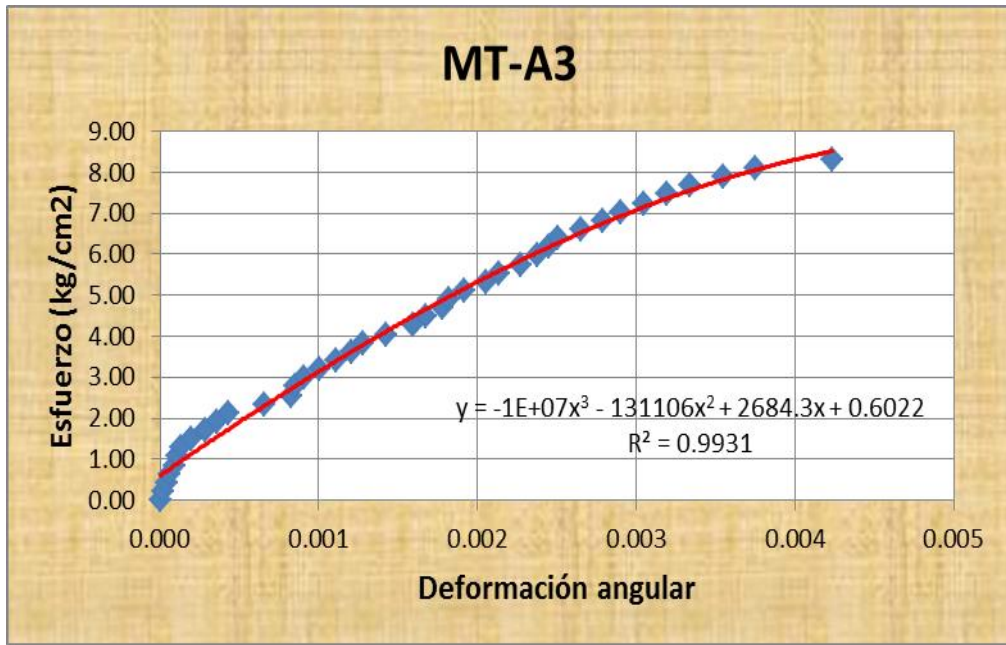


Gráfico 15. Esfuerzo vs deformación angular en MT-A3

4) ESFUERZO CORTANTE Y DEFORMACIÓN ANGULAR EN MURETES DE LA LADRILLERA LEZAMA

Tabla 59. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-L1

MT-L1		Largo (cm)		67.55	
		Altura (cm)		67.60	
		Espesor (cm)		14.05	
		Área (cm ²)		949.43	
		Diagonal (g) (cm)		95.57	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación vertical (cm)	Deformación horizontal (cm)	Deformación angular	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00000	0.00
0.20	200.00	0.002	0.002	0.00004	0.21
0.40	400.00	0.004	0.003	0.00007	0.42
0.60	600.00	0.006	0.005	0.00012	0.63
0.80	800.00	0.014	0.010	0.00025	0.84
1.00	1000.00	0.025	0.018	0.00045	1.05
1.20	1200.00	0.040	0.026	0.00069	1.26
1.40	1400.00	0.046	0.034	0.00084	1.47
1.60	1600.00	0.055	0.040	0.00099	1.69
1.80	1800.00	0.060	0.047	0.00112	1.90
2.00	2000.00	0.075	0.056	0.00137	2.11
2.20	2200.00	0.085	0.063	0.00155	2.32
2.40	2400.00	0.098	0.070	0.00176	2.53
2.60	2600.00	0.103	0.074	0.00185	2.74
2.80	2800.00	0.111	0.079	0.00199	2.95
3.00	3000.00	0.123	0.089	0.00222	3.16
3.20	3200.00	0.135	0.097	0.00243	3.37
3.40	3400.00	0.139	0.101	0.00251	3.58
3.60	3600.00	0.145	0.107	0.00264	3.79
3.80	3800.00	0.149	0.110	0.00271	4.00
4.00	4000.00	0.150	0.113	0.00275	4.21
4.20	4200.00	0.152	0.116	0.00280	4.42
4.40	4400.00	0.155	0.125	0.00293	4.63
4.60	4600.00	0.170	0.134	0.00318	4.85
4.80	4800.00	0.178	0.139	0.00332	5.06
5.00	5000.00	0.185	0.149	0.00349	5.27
5.20	5200.00	0.195	0.156	0.00367	5.48
5.40	5400.00	0.208	0.161	0.00386	5.69
5.60	5600.00	0.215	0.168	0.00401	5.90
5.80	5800.00	0.225	0.178	0.00422	6.11
6.00	6000.00	0.229	0.189	0.00437	6.32
6.20	6200.00	0.232	0.195	0.00447	6.53

6.40	6400.00	0.240	0.199	0.00459	6.74
6.60	6600.00	0.244	0.205	0.00470	6.95
6.80	6800.00	0.250	0.211	0.00482	7.16
7.00	7000.00	0.255	0.219	0.00496	7.37
7.20	7200.00	0.262	0.225	0.00510	7.58
7.40	7400.00	0.264	0.230	0.00517	7.79
7.60	7600.00	0.268	0.235	0.00526	8.00
7.80	7800.00	0.272	0.242	0.00538	8.22
8.00	8000.00	0.278	0.248	0.00550	8.43
8.20	8200.00	0.282	0.253	0.00560	8.64
8.40	8400.00	0.290	0.268	0.00584	8.85
8.60	8600.00	0.297	0.276	0.00600	9.06
8.80	8800.00	0.305	0.287	0.00619	9.27
9.00	9000.00	0.310	0.293	0.00631	9.48
9.20	9200.00	0.325	0.303	0.00657	9.69
9.40	9400.00	0.345	0.316	0.00692	9.90
9.60	9600.00	0.365	0.335	0.00732	10.11

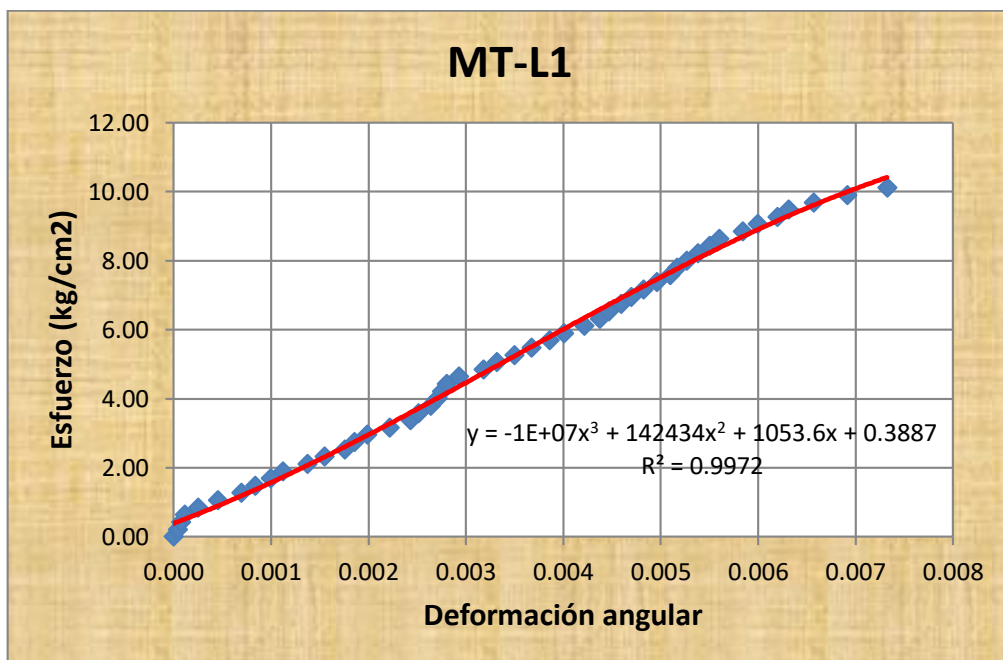


Gráfico 16. Esfuerzo vs deformación angular en MT-L1

Tabla 60. Esfuerzo cortante y deformación angular MT-L5

MT-L5		Largo (cm)		67.80	
		Altura (cm)		67.50	
		Espesor (cm)		14.20	
		Área (cm²)		960.63	
		Diagonal (g) (cm)		95.67	
Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación vertical (cm)	Deformación horizontal (cm)	Deformación angular	Esfuerzo cortante (kg/cm²)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00000	0.00
0.20	200.00	0.002	0.001	0.00003	0.21
0.40	400.00	0.003	0.002	0.00005	0.42
0.60	600.00	0.005	0.003	0.00008	0.62
0.80	800.00	0.007	0.004	0.00011	0.83
1.00	1000.00	0.009	0.005	0.00015	1.04
1.20	1200.00	0.011	0.007	0.00019	1.25
1.40	1400.00	0.013	0.009	0.00023	1.46
1.60	1600.00	0.017	0.011	0.00029	1.67
1.80	1800.00	0.025	0.015	0.00042	1.87
2.00	2000.00	0.035	0.018	0.00055	2.08
2.20	2200.00	0.048	0.024	0.00075	2.29
2.40	2400.00	0.065	0.029	0.00098	2.50
2.60	2600.00	0.086	0.042	0.00134	2.71
2.80	2800.00	0.098	0.050	0.00155	2.91
3.00	3000.00	0.110	0.060	0.00178	3.12
3.20	3200.00	0.120	0.072	0.00201	3.33
3.40	3400.00	0.128	0.083	0.00221	3.54
3.60	3600.00	0.133	0.095	0.00238	3.75
3.80	3800.00	0.140	0.109	0.00260	3.96
4.00	4000.00	0.143	0.120	0.00275	4.16
4.20	4200.00	0.151	0.130	0.00294	4.37
4.40	4400.00	0.155	0.138	0.00306	4.58
4.60	4600.00	0.162	0.147	0.00323	4.79
4.80	4800.00	0.169	0.152	0.00336	5.00
5.00	5000.00	0.171	0.158	0.00344	5.20
5.20	5200.00	0.172	0.162	0.00349	5.41
5.40	5400.00	0.174	0.166	0.00355	5.62
5.60	5600.00	0.176	0.169	0.00361	5.83
5.80	5800.00	0.183	0.173	0.00372	6.04
6.00	6000.00	0.187	0.175	0.00378	6.25
6.20	6200.00	0.192	0.177	0.00386	6.45
6.40	6400.00	0.201	0.179	0.00397	6.66
6.60	6600.00	0.211	0.185	0.00414	6.87
6.80	6800.00	0.221	0.188	0.00428	7.08

7.00	7000.00	0.229	0.194	0.00442	7.29
7.20	7200.00	0.230	0.200	0.00449	7.50
7.40	7400.00	0.231	0.209	0.00460	7.70
7.60	7600.00	0.245	0.216	0.00482	7.91
7.80	7800.00	0.249	0.221	0.00491	8.12
8.00	8000.00	0.251	0.225	0.00498	8.33
8.20	8200.00	0.252	0.229	0.00503	8.54
8.40	8400.00	0.268	0.240	0.00531	8.74
8.60	8600.00	0.270	0.247	0.00540	8.95
8.80	8800.00	0.275	0.259	0.00558	9.16
9.00	9000.00	0.280	0.270	0.00575	9.37
9.20	9200.00	0.290	0.275	0.00591	9.58
9.40	9400.00	0.315	0.281	0.00623	9.79
9.60	9600.00	0.321	0.288	0.00637	9.99
9.80	9800.00	0.325	0.295	0.00648	10.20
10.00	10000.00	0.330	0.305	0.00664	10.41
10.20	10200.00	0.342	0.320	0.00692	10.62
10.40	10400.00	0.350	0.334	0.00715	10.83
10.60	10600.00	0.370	0.350	0.00753	11.03

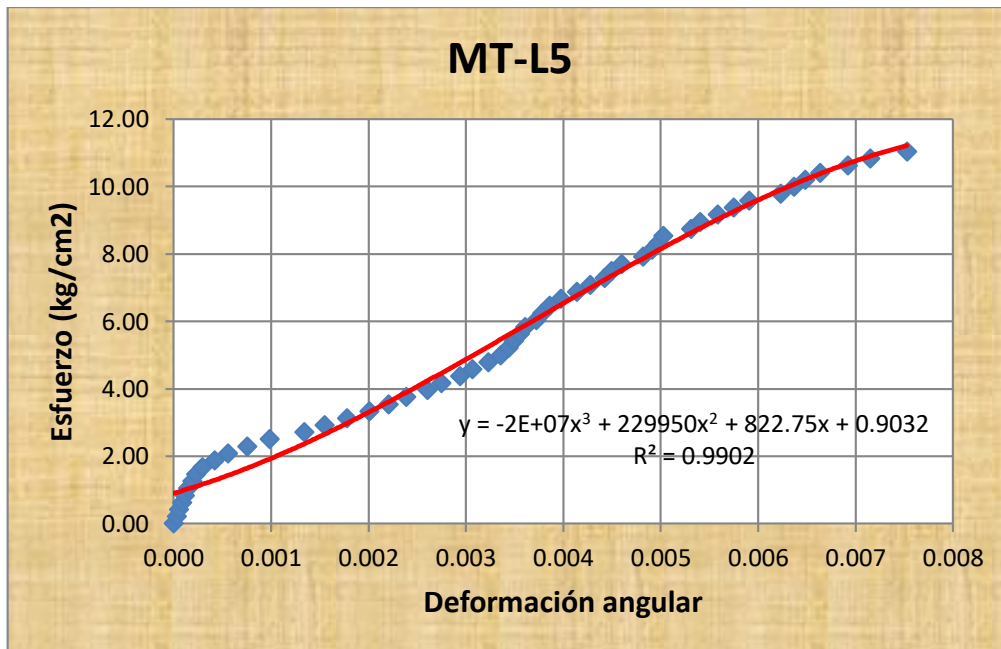


Gráfico 17. Esfuerzo vs deformación angular en MT-L5

ANEXO IV: PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO PARA MORTERO

1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tabla 61. Ensayo de granulometría N° 01

Malla ASTM		Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	62.00	4.13	4.13	95.87
16	1.18	222.00	14.80	18.93	81.07
30	0.60	397.00	26.47	45.40	54.60
50	0.30	302.00	20.13	65.53	34.47
100	0.15	390.00	26.00	91.53	8.47
200	0.075	104.00	6.93	98.47	1.53
Cazoleta		23.00	1.53	100.00	0.00
Total		1500.00	Módulo de finura		2.26

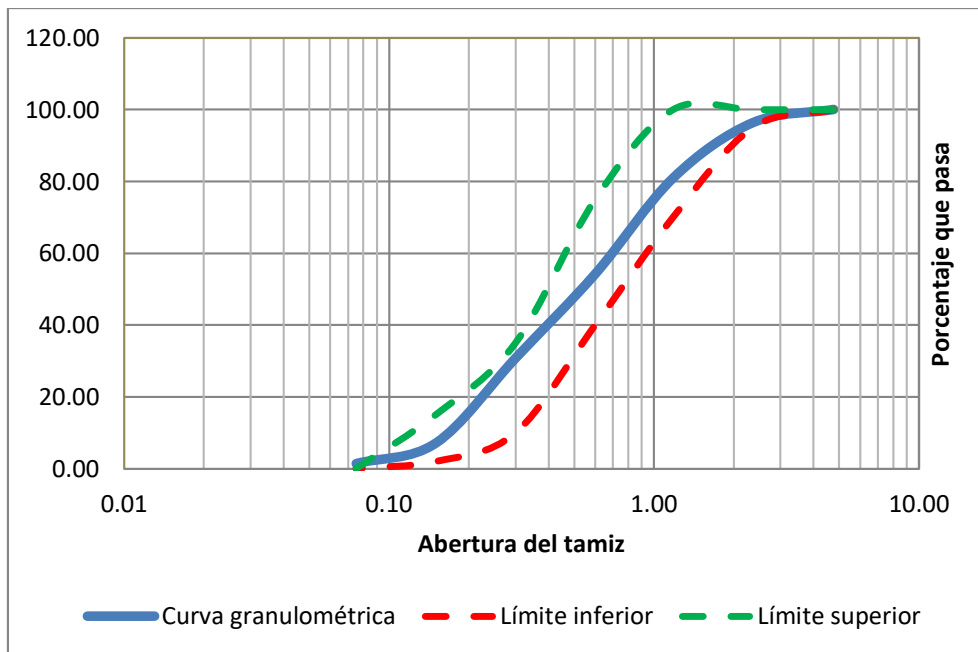


Gráfico 18. Curva granulométrica del ensayo N° 01.

Tabla 62. Ensayo de granulometría N° 02

Malla ASTM		Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	55.00	3.67	3.67	96.33
16	1.18	231.00	15.40	19.07	80.93
30	0.60	400.00	26.67	45.73	54.27
50	0.30	352.00	23.47	69.20	30.80
100	0.15	355.00	23.67	92.87	7.13
200	0.075	86.00	5.73	98.60	1.40
Cazoleta		21.00	1.40	100.00	0.00
Total		1500.00	Módulo de finura		2.31

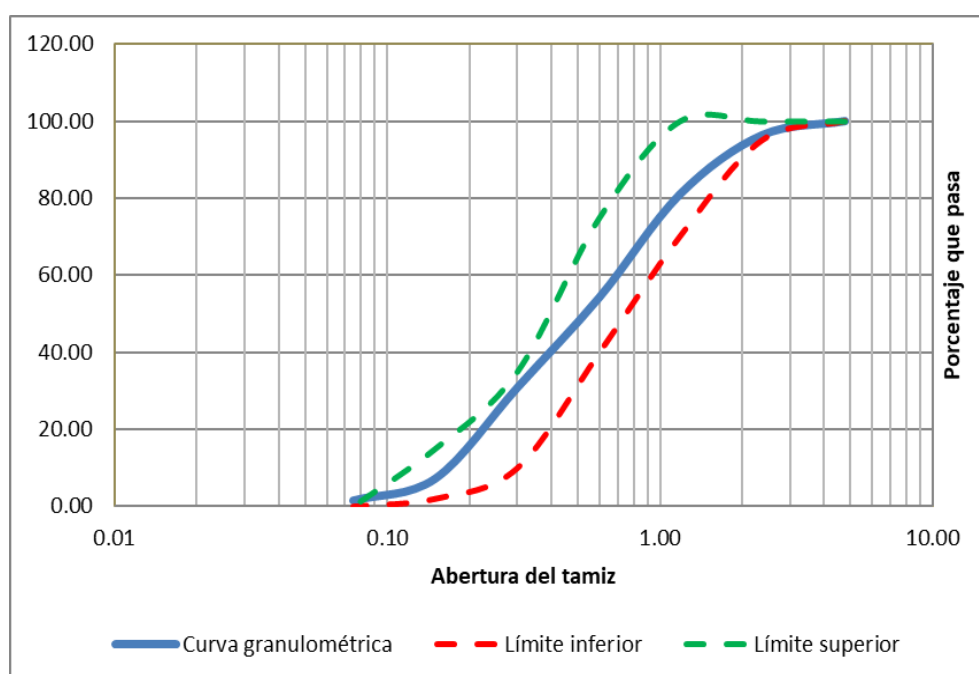


Gráfico 19. Curva granulométrica del ensayo N° 02.

Tabla 63. Ensayo de granulometría N° 03

Malla ASTM		Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	71.00	4.73	4.73	95.27
16	1.18	241.00	16.07	20.80	79.20
30	0.60	407.00	27.13	47.93	52.07
50	0.30	292.00	19.47	67.40	32.60
100	0.15	350.00	23.33	90.73	9.27
200	0.075	126.00	8.40	99.13	0.87
Cazoleta		13.00	0.87	100.00	0.00
Total		1500.00	Módulo de finura		2.32

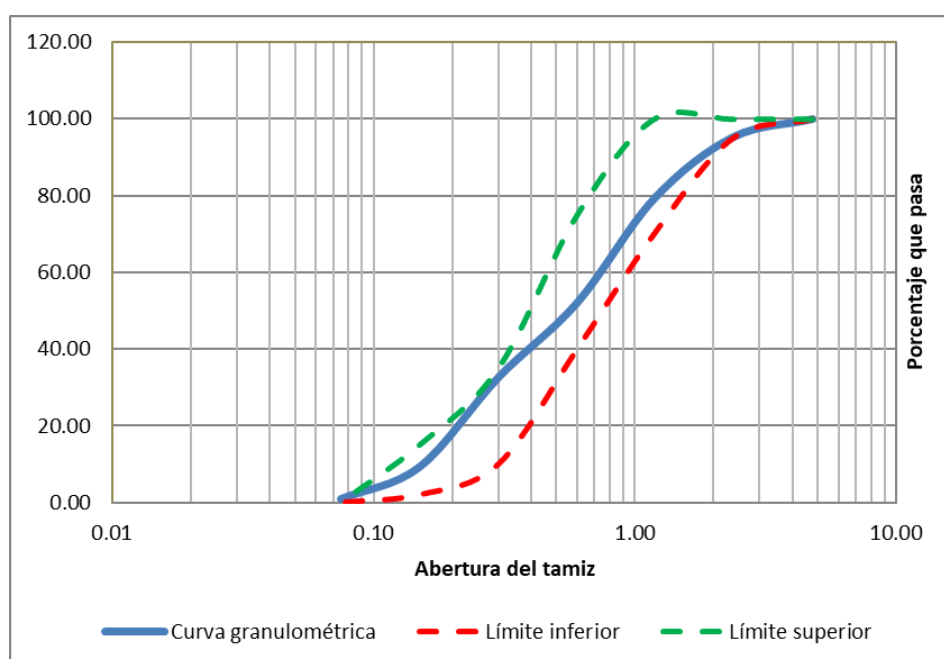


Gráfico 20. Curva granulométrica del ensayo N° 03.

2) MÓDULO DE FINURA

Tabla 64. Módulo de finura promedio

Ensayo N°	Módulo de finura
01	2.26
02	2.31
03	2.32
Promedio	2.29

3) PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Tabla 65. Peso específico y absorción del agregado fino

Ensayo N°	1	2	3	Promedio
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00	-
Peso del frasco o picnómetro (gr)	176.00	176.00	176.00	-
Volumen del frasco o picnómetro (cm ³)	500.00	500.00	500.00	-
Peso del frasco más agua (gr)	674.00	674.00	674.00	-
Peso del frasco lleno de la muestra más agua (gr)	986.00	987.00	988.00	-
Peso de la muestra seca al horno (gr)	494.00	495.00	494.00	-
Peso en (gr) o volumen (cm ³) del agua añadida al frasco	310.00	311.00	312.00	-
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.60	2.62	2.63	2.62
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm ³)	2.63	2.65	2.66	2.65
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.68	2.69	2.71	2.70
Absorción (%)	1.21	1.01	1.21	1.15

4) PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

Tabla 66. Peso específico del agua

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del picnómetro	gr	176.00	176.00	176.00
Peso del picnómetro más agua	gr	674.00	674.00	674.00
Volumen del agua	m ³	0.0005	0.0005	0.0005
Peso específico del agua	kg/m ³	996.00	996.00	996.00
Peso específico promedio	kg/m ³	996.00		

Tabla 67. Factor de calibración del recipiente

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del recipiente	gr	3877.00	3877.00	3877.00
Peso del recipiente más agua	gr	6801.00	6801.00	6801.00
Peso del agua necesaria para llenar el recipiente	gr	2924.00	2924.00	2924.00
Factor de calibración	1/m ³	340.63	340.63	340.63
Factor de calibración promedio	1/m ³	340.63		

Tabla 68. Peso unitario suelto seco

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del recipiente	gr	3877.00	3877.00	3877.00
Peso del recipiente más agregado	gr	9026.00	9052.00	9084.00
Peso del agregado	gr	5149.00	5175.00	5207.00
Factor (f)	1/m ³	340.63	340.63	340.63
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1753.90	1762.76	1773.66
P.U.S.S. promedio	kg/m ³	1763.44		

Tabla 69. Peso unitario seco compactado

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del recipiente	gr	3877.00	3877.00	3877.00
Peso del recipiente más agregado compactado	gr	9283.00	9282.00	9277.00
Peso del agregado	gr	5406.00	5405.00	5400.00
Factor (f)	1/m ³	340.63	340.63	340.63
Peso unitario seco compactado	kg/m ³	1841.44	1841.10	1839.40
P.U.S.C. promedio	kg/m ³	1840.65		

5) MATERIALES MUY FINOS

Tabla 70. Material más fino que pasa el tamiz N° 200

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del recipiente	gr	150.00	148.00	147.00
Peso seco de la muestra original	gr	350.00	350.00	350.00
Peso del recipiente más muestra seca lavada	gr	484.00	483.00	483.00
Peso seco de la muestra lavada	gr	334.00	335.00	336.00
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200	%	4.57	4.29	4.00
Promedio	%	4.29		

6) CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 71. Contenido de humedad del agregado fino

Ensayo N°	Unidad	1	2	3
Peso del recipiente	gr	147.00	147.00	147.00
Peso del recipiente más muestra húmeda	gr	746.00	757.00	772.00
Peso del recipiente más muestra seca	gr	729.00	742.00	755.00
Peso de la muestra húmeda	gr	599.00	610.00	625.00
Peso de la muestra seca	gr	582.00	595.00	608.00
Contenido de humedad	%	2.92	2.52	2.80
Contenido de humedad promedio	%	2.75		

ANEXO V: DISEÑO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

1) CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

A. Cemento – N.T.P. 334.009

Características	Valor	Unidad
Portland Tipo I - Pacasmayo	---	---
Peso específico	3.10	gr/cm ³

B. Agregado fino

Propiedades	Valor	Unidad
Peso unitario suelto seco	1.76	gr/cm ³
Peso unitario seco compactado	1.84	gr/cm ³
Peso específico de masa	2.62	gr/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	gr/cm ³
Peso específico aparente	2.70	gr/cm ³
Absorción	1.15	%
Contenido de humedad	2.75	%
Módulo de finura	2.29	---
Materiales más finos que el tamiz N° 200	4.29	%

C. Agua

Características	Valor	Unidad
Potable	---	---
Peso específico	1.00	gr/cm ³

2) MORTERO

A. Características

Norma	Tipo	Dosificación	
		Cemento	Agregado fino
E.070	P2	1	4
ASTM 270	S		

B. Volumen aparente de los materiales

$$\text{Cemento} = 1 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 4 \text{ pie}^3$$

$$\text{Relación A/C} = 0.90$$

$$\text{Agua} = 0.90 \times C$$

C. Peso seco de los materiales en base a una bolsa de cemento

$$\text{Cemento} = 42.50 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 4 \text{ pies}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.31 \text{ pies}^3} \times \text{peso unitario suelto seco} \\ &= 199.72 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Agua} = 38.25 \text{ lts}$$

D. Volumen absoluto de los materiales sin aire atrapado

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{\text{Peso del cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento (kg/m}^3)} = \frac{42.50 \text{ kg}}{3100 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.01371 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= \frac{\text{Peso seco del agregado (kg)}}{\text{Peso específico del agregado (kg/m}^3)} = \frac{249.65 \text{ kg}}{2620 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.07623 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= \frac{\text{Peso del cemento (kg)} \times \text{relación A/C}}{\text{Peso específico del agua (kg/m}^3)} = \frac{42.50 \text{ kg} \times 0.90}{1000 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.03825 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen absoluto de la colada} = 0.12819 \text{ m}^3$$

Nota: Como el contenido de aire en 1 m^3 de mortero se consideró 3%, entonces el volumen del mortero sin aire atrapado se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Aire atrapado} = 3.00 \%$$

$$\text{Volumen del mortero sin aire atrapado} = 1 - \frac{3}{100} = 0.970 \text{ m}^3$$

E. Factor cemento o bolsas por m³ de mortero

$$\text{Factor cemento} = \frac{\text{Volumen absoluto total}}{\text{Volumen absoluto de la colada}} = \frac{0.970 \text{ m}^3}{0.12819 \text{ m}^3}$$

$$\text{Factor cemento} = 7.57 \text{ bolsas}$$

F. Cantidad de materiales por m³

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 42.50 \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times \text{FC} \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} = 42.50 \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times 7.57 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} \\ &= 321.60 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= \text{Peso seco del agregado} \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times \text{FC} \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} \\ &= 199.72 \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times 7.57 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} = 1511.27 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua de diseño} &= \text{Agua añadida} \frac{\text{litros}}{\text{bolsa}} \times \text{FC} \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} \\ &= 38.25 \frac{\text{litros}}{\text{bolsa}} \times 7.57 \frac{\text{bolsa}}{\text{m}^3} = 289.44 \text{ lts/m}^3 \end{aligned}$$

G. Materiales corregidos por humedad

$$\text{Cemento} = 321.60 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= \text{Cantidad de agregado} \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times \left(1 + \frac{W\%}{100}\right) \\ &= 1511.27 \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}} \times \left(1 + \frac{2.75}{100}\right) = 1552.83 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua de diseño} &= \text{Agua de diseño} - \left(\frac{W\% - \text{abs}\%}{100}\right) \times \text{agregado fino} \\ &= 289.44 - \left(\frac{2.75 - 1.15\%}{100}\right) \times 1511.27 = 265.26 \text{ lts/m}^3 \end{aligned}$$

H. Proporción de los materiales en peso

Materiales	Proporción en peso
Cemento	1
Agregado fino	4.83
agua	0.82

I. Volumen aparente de los materiales (pies³)

$$\text{Cemento} = \frac{321.60}{42.50} = 7.57 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{1511.27}{(1.76 \times 1000)} \times 35.31 = 30.27 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 265.26 \text{ lts}$$

J. Proporción de los materiales en volumen

Materiales	Proporción en volumen
Cemento	1
Agregado fino	4.00
Agua	35.05 lts/bolsa

K. Materiales por tanda

$$\text{Lado de los especímenes} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 0.000125 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para 20 especímenes} = 0.0025 \text{ m}^3$$

L. Proporciones en peso de la muestra patrón

$$\text{Cemento} = 0.0025 \times 321.60 = 0.80 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 0.0025 \times 1552.83 = 0.80 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.0025 \times 265.26 = 0.66 \text{ lts}$$

Tabla 72. Ensayo a compresión del mortero para determinar la relación A/C

Resistencia $f'c$ estimada = 130 kg/cm²

Resistencia a compresión del mortero (A/C=1:4)				Ensayo a los 7 días					Ensayo a los 28 días
Relación A/C	Espécimen	Lado (cm)	Área (cm ²)	Carga (KN)	Resistencia $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia $f'c$ (%)	Promedio $f'c$ (kg/cm ²)	Promedio $f'c$ (%)	Resistencia $f'c$ (kg/cm ²)
0.85	M1	5.00	25.00	26.50	108.09	83.14	109.72	84.40	156.74
	M2	5.00	25.00	26.75	109.11	83.93			
	M3	5.00	25.00	27.00	110.13	84.71			
	M4	5.00	25.00	26.95	109.92	84.56			
	M5	5.00	25.00	27.30	111.35	85.65			
0.875	M1	5.00	25.00	25.30	103.19	79.38	100.75	77.50	143.92
	M2	5.00	25.00	24.70	100.75	77.50			
	M3	5.00	25.00	24.12	98.38	75.68			
	M4	5.00	25.00	24.31	99.16	76.27			
	M5	5.00	25.00	25.07	102.26	78.66			
0.90	M1	5.00	25.00	22.90	93.40	71.85	95.28	73.29	136.12
	M2	5.00	25.00	23.52	95.93	73.79			
	M3	5.00	25.00	23.88	97.40	74.92			
	M4	5.00	25.00	23.10	94.22	72.48			
	M5	5.00	25.00	23.40	95.44	73.42			
0.92	M1	5.00	25.00	20.35	83.00	63.85	83.68	64.37	119.54
	M2	5.00	25.00	21.50	87.69	67.46			
	M3	5.00	25.00	21.20	86.47	66.52			
	M4	5.00	25.00	20.15	82.19	63.22			
	M5	5.00	25.00	19.38	79.05	60.81			

Tabla 73. Ensayo de resistencia a compresión del mortero a los 28 días

Espécimen	Carga (KN)	Carga (kg)	Lado (cm)	Área (cm²)	Resistencia del mortero (MPa)	Resistencia del mortero (kg/cm²)
M1	34.41	3508.79	5.05	25.50	13.49	137.59
M2	35.50	3619.94	5.11	26.11	13.59	138.63
M3	33.98	3464.94	5.04	25.40	13.38	136.41
M4	33.80	3446.59	5.09	25.91	13.05	133.03
M5	34.32	3499.61	5.06	25.60	13.40	136.68
M6	33.70	3436.39	5.12	26.21	12.86	131.09
M7	34.98	3566.91	5.10	26.01	13.45	137.14
M8	33.97	3463.92	5.05	25.50	13.32	135.83
M9	33.25	3390.50	5.00	25.00	13.30	135.62
M10	34.04	3471.06	5.00	25.00	13.62	138.84
M11	34.36	3503.69	5.10	26.01	13.21	134.71
M12	35.77	3647.47	5.13	26.32	13.59	138.60
M13	34.18	3485.33	5.08	25.81	13.24	135.06
M14	33.36	3401.72	5.05	25.50	13.08	133.39
M15	33.95	3461.88	5.05	25.50	13.31	135.75
M16	34.69	3537.34	5.11	26.11	13.28	135.47
M17	35.24	3593.42	5.07	25.70	13.71	139.80
M18	33.60	3426.19	5.09	25.91	12.97	132.24
M19	34.03	3470.04	5.05	25.50	13.34	136.07
M20	32.62	3326.26	5.00	25.00	13.05	133.05
Promedio de la resistencia a compresión (f_c)					13.31	135.75
Desviación estándar (σ)					0.23	2.35
Resistencia característica a compresión (f_c)					13.08	133.40
Coefficiente de variación (%)					1.73	1.73

ANEXO VI: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 868 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.

(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

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

ANEXO VII: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 11. Fabricación de unidades de concreto en la ladrillera Aguilar.



Figura 12. Selección de la muestra para la investigación.



Figura 13. Fabricación de unidades de concreto en la ladrillera Lezama.



Figura 14. Ladrillo de concreto artesanal de la ladrillera Aguilar.



Figura 15. Marcado e identificación de los especímenes.



Figura 16. Ensayo de variación dimensional para los especímenes.



Figura 17. Medición del alabeo en los especímenes.



Figura 18. Refrentado de especímenes para el ensayo de compresión axial.



Figura 19. Peso de los especímenes de ambas ladrilleras.



Figura 20. Modo de falla a compresión axial del espécimen MA2.



Figura 21. Modo de falla a compresión axial del espécimen MA3.



Figura 22. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML2.



Figura 23. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML7.



Figura 24. Modo de falla a compresión axial del espécimen ML10.



Figura 25. Colocación de los especímenes en la máquina a compresión.



Figura 26. Saturación de los especímenes de para el ensayo de absorción.



Figura 27. Peso sumergido de los especímenes para el ensayo de absorción.



Figura 28. Peso saturado de los especímenes para el ensayo de absorción.



Figura 29. Ensayo de succión en uno de los especímenes.



Figura 30. Peso de los especímenes para el ensayo de succión.



Figura 31. Ensayo de peso unitario para el agregado fino.



Figura 32. Ensayo de granulometría para el agregado fino.



Figura 33. Pesos retenidos para el ensayo de granulometría del agregado fino.



Figura 34. Ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino.



Figura 35. Pilas con unidades de concreto de las ladrilleras Aguilar y Lezama.



Figura 36. Modo de falla ideal en pila PA-01.



Figura 37. Modo de falla en pila PA-06.

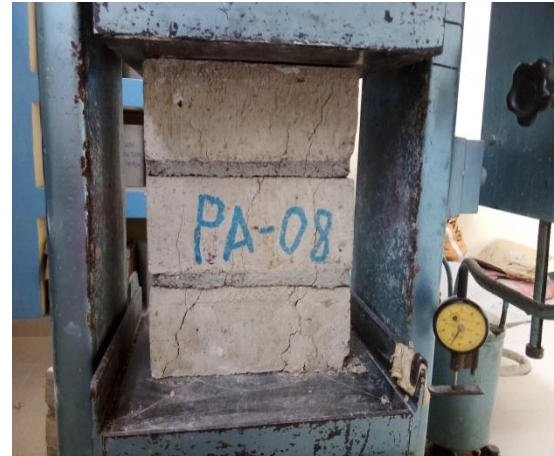


Figura 38. Modo de falla ideal en pila PA-08.



Figura 39. Ensayo de compresión axial en pila PL-03.



Figura 40. Modo de falla en pila PL-04.



Figura 41. Modo de falla ideal en pila PL-06.



Figura 42. Modo de falla en pila PL-08.



Figura 43. Elaboración de muretes de 67.5 x 67.5 cm con unidades de concreto.



Figura 44. Inicio del ensayo a compresión diagonal para muretes.



Figura 45. Falla mixta por tracción diagonal y corte escalonado en murete MT-A2.



Figura 46. Falla mixta por corte y tracción diagonal en murete MT-A3.



Figura 47. Preparación de murete MT-A4 para ensayo a compresión diagonal.



Figura 48. Preparación de murete MT-L1 para ensayo a compresión diagonal.



Figura 49. Falla mixta por tracción diagonal y corte escalonado en murete MT-L1.



Figura 50. Falla por tracción diagonal y corte en murete MT-L5.



Figura 51. Ensayo a compresión del espécimen M1 de mortero.



Figura 52. Finalización del ensayo a compresión del mortero.

ANEXO VIII: CONSTANCIA DE ENSAYOS REALIZADOS



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el Sr. **CHÁVEZ CUENCA MIGUEL ANGEL**. Ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; **que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca**, para la Tesis Titulada: “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ALBAÑILERÍA CON LADRILLOS DE CONCRETO ELABORADOS ARTESANALMENTE EN LA CIUDAD DE SAN MARCOS”. Dichos ensayos se realizaron en los meses de abril - agosto y octubre – noviembre de 2019, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 09 de diciembre de 2019.



Dr. Ing. Miguel A. Mosqueira Moreno
JEFE ENCARGADO LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES