



Religación
Press

Caracterización de unidades de albañilería ecológicas (suelo-cemento)

Rocío del Pilar Durand Orellana
Oswaldo Hurtado Zamora
Guillermo David Evangelista Benites
Antonio Manuel Otoyá Zelada

Colección Ingeniería

Caracterización de unidades de albañilería ecológicas

(suelo-cemento)

Rocío del Pilar Durand Orellana
Oswaldo Hurtado Zamora
Guillermo David Evangelista Benites
Antonio Manuel Otoy Zelada

Religación **P**ress

Engineering Collection

Characterization of ecological masonry units

(soil-cement)

Rocío del Pilar Durand Orellana
Oswaldo Hurtado Zamora
Guillermo David Evangelista Benites
Antonio Manuel Otoy Zelada

Religación **P**ress

Religación Press

Equipo Editorial / Editorial team

Eduardo Díaz R. Editor Jefe

Roberto Simbaña Q. | Director Editorial / Editorial Director |

Felipe Carrión | Director de Comunicación / Scientific Communication Director |

Ana Benalcázar | Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator|

Ana Wagner | Asistente Editorial / Editorial Assistant |

Consejo Editorial / Editorial Board

Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra | Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICHAL-RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICHAL-RELIGACIÓN Research Center |

Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.

CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.

Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com

www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at | <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.



Caracterización de unidades de albañilería ecológicas (suelo-cemento)

Characterization of ecological masonry units (soil-cement)

Caracterização de unidades de alvenaria ecológica (solo-cimento)

Derechos de autor	Religación Press© Rocío del Pilar Durand Orellana©, Oswaldo
Copyright:	Hurtado Zamora©, Guillermo David Evangelista Benites©, Antonio Manuel Otoyá Zelada©
Primera Edición:	2024
First Edition:	
Editorial:	Religación Press
Publisher:	
Materia Dewey:	624 - Ingeniería civil
Dewey Subject:	
Clasificación Thema:	TNKE - Física de la edificación, construcciones energética-
Thema Subject Categories	mente eficientes
BISAC:	TEC010000: TECHNOLOGY & ENGINEERING
Público objetivo:	Profesional / Académico
Target audience:	Professional / Academic
Colección:	Ingeniería
Collection:	
Soporte/Formato:	PDF / Digital
Support/Format:	
Publicación:	2024-12-02
Publication date:	
ISBN:	978-9942-664-59-4

Nota: el libro retoma y amplía, por un grupo de investigadores, lo mostrado en la tesis "Estudio experimental de unidades de albañilería fabricadas con suelo-cemento como alternativa para la construcción sostenible" presentada ante la Universidad Nacional de Trujillo por Rocío del Pilar Durand Orellana en 2015.

Note: the book takes up and expands, by a group of researchers, what was shown in the thesis "Estudio experimental de unidades de albañilería fabricadas con suelo-cemento como alternativa para la construcción sostenible" presented to the Universidad Nacional de Trujillo by Rocío del Pilar Durand Orellana in 2015.

APA 7

Durand Orellana, R. del P., Hurtado Zamora, O., Evangelista Benites, G. D., y Otoyá Zelada, A. M. (2024). *Caracterización de unidades de albañilería ecológicas (suelo-cemento)*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.193>

[Revisión por pares]

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos (doble-ciego). Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

[Peer Review]

This book was reviewed by an independent external reviewers (double-blind). Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.



Sobre los autores/ About the authors

Rocío del Pilar Durand Orellana

Universidad Privada Antenor Orrego | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0009-0003-1031-4070>

rdurando@upao.edu.pe

ingrdo@hotmail.com

Doctora en Ciencias e Ingeniería, docente asesora de posgrado y pregrado, con investigaciones sobre materiales de construcción como las unidades de albañilería y el concreto en la ciudad de Trujillo.

PhD. in Science and Engineering, undergraduate and graduate teaching advisor, with research on construction materials such as masonry units and concrete in the city of Trujillo.]

Oswaldo Hurtado Zamora

Universidad Privada Antenor Orrego | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0003-2612-3298>

ingohurtadoz@hotmail.com

Doctor en Ciencias e Ingeniería. Docente de pregrado y posgrado en la Universidad Privada Antenor Orrego, Coordinador de la unidad de ingeniería – EPG UPAO, coordinador de maestría en transportes y conservación vial - EPG UPAO.

PhD. in Science and Engineering. [Undergraduate and graduate teaching at the Universidad Privada Antenor Orrego, Coordinator of the engineering unit - EPG UPAO, coordinator of the master's degree in transportation and road conservation - EPG UPAO.]

Guillermo David Evangelista Benites

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-1955-6565>

gevangelista@unitru.edu.pe

david_gdeb@hotmail.com

Especialista en métodos numéricos, transferencia de calor, mecánica de fluidos y simulación de procesos. Doctor en Ciencias e Ingeniería. Miembro de RENACYT.

[Specialist in numerical methods, heat transfer, fluid mechanics and process simulation. PhD in Science and Engineering. Member of RENACYT]

Antonio Manuel Otoya Zelada

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-6460-969X>

amotoyaz@unitru.edu.pe

antonio_otoya@hotmail.com

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), área ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), área de Ingeniería Química.

[PhD in Environmental Chemical Engineering, professional title of Chemical Engineer, teaching experience at the Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), basic sciences area and at the Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Chemical Engineering area].

Resumen

En el actual mundo globalizado de la construcción surge la necesidad de crear materiales sostenibles con el medio ambiente. En el presente estudio se fabricaron unidades de albañilería ecológicas con dos componentes suelo y cemento, para luego ser sometidas a ensayos experimentales bajo la rigurosidad de las normas técnicas peruanas vigentes para poder obtener sus propiedades físico-mecánicas. Los resultados fueron evaluados en referencia con la NTP E-070, arrojaron una resistencia a la compresión que supero a la de un ladrillo de arcilla artesanal. Estos resultados dan una buena referencia para que estas unidades de albañilería se puedan elaborar y utilizar en zonas donde se viene utilizando el adobe ya que han demostrado un mejor comportamiento en cuanto a resistencia y su proceso de elaboración es similar al que se realiza con el adobe. El Centro Sismológico Nacional (CENSIS) nos informa los reportes sísmicos en nuestro país que demuestra una importante actividad sísmica debido a que nos encontramos ubicados en una zona tectónicamente muy dinámica; por lo tanto, este tipo de materiales ecológicos cumple con el requerimiento técnico y al mismo tiempo contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente en beneficio de la población en general.

Palabras clave:

Medio ambiente; Construcción; Resistencia a la compresión.

Abstract

In the current globalized world of construction, the need arises to create environmentally sustainable materials. In the present study, ecological masonry units were manufactured with two components, soil and cement, to then be subjected to experimental tests under the rigor of current Peruvian technical standards in order to obtain their physical-mechanical properties. The results were evaluated in reference to the NTP E-070, they showed a compressive strength that o fan artisanal clay brick. These results provide a good reference so that these masonry units can be made and used in areas where adobe has been used since they have demonstrated better performance in terms of resistance and their manufacturing process is similar to that carried out with adobe. The National Seismological Center (CENSIS) informs us of the seismic reports in our country that demonstrate important seismic activity because we are located in a tectonically very dynamic area; Therefore, this type of ecological materials meets the technical requirement and at the same time contributes to the sustainability of the environment for the benefit of the general population.

Keywords:

Environment; Construction; Compression resistance.

Resumo

No atual mundo globalizado da construção, há a necessidade de criar materiais ambientalmente sustentáveis. No presente estudo, unidades de alvenaria ecológica foram fabricadas com dois componentes, solo e cimento, e depois submetidas a testes experimentais sob as rigorosas normas técnicas peruanas em vigor para obter suas propriedades físico-mecânicas. Os resultados foram avaliados com referência à NTP E-070 e mostraram uma resistência à compressão que superou a de um tijolo de argila artesanal. Esses resultados fornecem uma boa referência para que essas unidades de alvenaria sejam fabricadas e usadas em áreas onde o adobe foi usado, já que apresentaram melhor comportamento em termos de resistência e seu processo de fabricação é semelhante ao do adobe. O Centro Sismológico Nacional (CENSIS) nos informa sobre os relatórios sísmicos em nosso país, que mostram uma atividade sísmica importante devido ao fato de estarmos localizados em uma área tectonicamente muito dinâmica; portanto, esse tipo de material ecológico atende ao requisito técnico e, ao mesmo tempo, contribui para a sustentabilidade do meio ambiente em benefício da população em geral.

Palavras-chave:

Meio ambiente; Construção; Resistência à compressão.

Contenido

[Peer Review]	6
Sobre los autores/ About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Capítulo I	18
Introducción	18
Realidad Problemática	19
Descripción del Proyecto	22
Objetivos del Proyecto	25
Capítulo II	27
Características Geométricas de la Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada	27
Componentes de Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada	29
Suelo	29
Cemento	31
Agua	32
Definición de la Mezcla	32
Mortero	34
Clasificación para fines estructurales	35
Proporciones	35
Estudio de Análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto San Jerónimo – Cusco	42
Capítulo III	46
Proceso de elaboración de la unidad de albañilería: mezcla Suelo-Arena-Agua-Cemento	46
a) Selección del suelo	48
b) Extracción del suelo	51
c) Secado	52
d) Tamizado	52
Máquina tamizadora y trituradora de terrones	53
e) Dosificación y mezclado de componentes en seco	54

f) Adición de agua	57
Ensayos Preliminares al Suelo Extraído	59
a) Ensayo de granulometría por tamizado (húmedo y seco)	60
b) Contenido de humedad	60
c) Límite líquido y límite plástico	61
d) Gravedad específica	62
La Máquina Prensadora CINVA RAM – MODIFICADA (Compactadora)	63
Elaboración de la Unidad De Albañilería	64
Procedimiento experimental	70
Capítulo IV	72
Características de los especímenes	72
Características de las Pilas	73
Características de los Muretes	76
Capítulo V	79
Construcción de los especímenes	79
Lineamientos Generales	80
Pilas	83
Muretes	85
Capítulo VI	88
Ensayos de la unidad de albañilería prensada	88
Ensayo de Unidades de Albañilería	89
Variación de Dimensiones y Alabeo	89
Absorción	91
Resistencia a la Compresión	94
Ensayo de Pilas a Compresión Axial	97
Forma de Falla	99
Resultados y Resistencia Admisible	102
Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes	104
Forma de Falla	107
Comportamiento	108
Resultados y Resistencia Admisible	109
Capítulo VII	112
Caracterización del suelo extraído	112
a) Ensayo de granulometría por tamizado (húmedo y seco) (NTP 339.128)	113

b) Contenido de humedad (NTP 339.127)	114
c) Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (NTP 339.129).	114
d) Gravedad específica (NTP 339.131)	115
Ensayos Físicos y Mecánicos	115
a) Ensayo de Unidades de Albañilería	115
b) Ensayo de Pilas a Compresión Axial	118
c) Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes	119
Discusion	120
Conclusiones	123
Recomendaciones	124
Referencias	127

Tablas

Tabla 1. Distribución de ladrilleras en el Departamento de La Libertad, según Dirección Regional de Producción La Libertad – Sub Dirección de Industrias, Año 2012	20
Tabla 2. Porcentajes seleccionados de arcilla, limo y arena para la investigación	33
Tabla 3. Diseño de Mezclas	34
Tabla 4. Tipos de Morteros	36
Tabla 5. Factor Sostenibilidad e Impacto Ambiental	43
Tabla 6. Cantidad en Kg para la elaboración de cuatro unidades de albañilería	55
Tabla 7. Incremento de f'm y v'm por edad	76
Tabla 8. Variación de dimensiones y Alabeo	90
Tabla 9. Absorción de Unidades Suelo Cemento	93
Tabla 10. Compresión de Unidades Suelo Cemento	95
Tabla 11. Resultados Finales de Compresión de Unidades	95
Tabla 12. Ensayo de compresión axial en pilas	102
Tabla 13. Resumen ensayo de compresión axial en pilas	103
Tabla 14. Compresión diagonal en murete suelo cemento	109
Tabla 15. Resumen Compresión diagonal en murete suelo cemento	110
Tabla 16. Composición de la muestra	113
Tabla 17. Contenido de Humedad	114
Tabla 18. Límite líquido y plástico	115
Tabla 19. Gravedad específica	115
Tabla 20. Variación de dimensiones y alabeo de unidades	116
Tabla 21. Absorción de unidades	117

Figuras

Figura 1. CINVA RAM Modificada	24
Figura 2. Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)	28
Figura 3. Dimensiones de Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)	29
Figura 4. Procedimiento para la elaboración de unidades de suelo-cemento	47
Figura 5. Método de la botella	49
Figura 6. Método de la Botella (Ensayo realizado en el Lab. De Suelos – UPAO)	50
Figura 7. Tamizado del suelo	53
Figura 8. Suelo tamizado y mezclado con la arena	56
Figura 9. Mezcla del suelo y el cemento	56
Figura 10. Prueba de humedad óptima	58
Figura 11. Adición del agua a la mezcla	59
Figura 11. CINVA RAM – Modificada	64
Figura 12. Mezcla depositada en la CINVA-RAM	66
Figura 13. Compactación del material	66
Figura 15. Curado y acopio de las unidades	69
Figura 16. Procedimiento Experimental	70
Figura 17. Pilas de albañilería sujeta compresión axial	74
Figura 18. Características de las Pilas. Medidas en centímetros.	75
Figura 19. Características de los Muretes. Medidas en centímetros.	77
Figura 20. Elaboración del mortero 1:1/2:4 (Cemento, Cal y Arena)	80
Figura 21. Humedeciendo las unidades de Suelo-Cemento	81
Figura 22. Verificando el grosor de la junta horizontal	81
Figura 23. Asentando la media unidad de albañilería en la parte extrema del murete	82
Figura 24. Asentando las unidades de albañilería antes de su nivelación	82
Figura 25. Rellenando las juntas verticales	83
Figura 26. Construcción de Pilas	84
Figura 27. Pilas construidas de tres hiladas	84
Figura 29. Muretes construidos de 72x72cm	86
Figura 30. Medición de las unidades de suelo-cemento	90
Figura 31. Ensayo de Alabeo	91

Figura 32. Unidades colocadas en horno	93
Figura 33. Unidades sumergidas 24 horas	94
Figura 34. Unidad de albañilería ubicada en la máquina de rotura	96
Figura 35. Resultado de las unidades comprimidas	96
Figura 36. Pilas de albañilería de 2 y 3 hileras	98
Figura 37. Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head	99
Figura 38. Ensayo y forma de falla para pilas de 2 hileras	100
Figura 39. Ensayo y forma de falla para pilas de 3 hileras	101
Figura 40. Muretes refrendados	105
Figura 41. Máquina de compresión universal	106
Figura 42. Aplicación de carga sobre murete	107
Figura 43. Forma de falla de los muretes	108
Figura 44. Gráfico de ensayo de compresión de unidades	118
Figura 45. Gráfico de ensayo de compresión axial–pilas	119
Figura 46. Gráfico de ensayo de compresión diagonal–muretes	120

Caracterización de unidades de albañilería ecológicas

(suelo-cemento)

Capítulo I

Introducción

Realidad Problemática

Antiguamente la construcción era muy sostenible, al menos en un sentido ambiental. Los volúmenes de construcción eran limitados y los materiales eran extraídos de lugares cercanos. A excepción del uso de leña, no se utilizaron otras fuentes de energía. Muchas de las antiguas técnicas siguen siendo utilizadas en grandes zonas del Perú, especialmente en zonas rurales, aunque también se utilizan en muchas ciudades. En las montañas de los Andes, la mayoría de casas y pequeños edificios se construyen utilizando bloques de adobe. Éstos son cubos de arcilla prensada, a menudo reforzados con paja, y que son secados al sol. Según los últimos censos cerca de 9 millones de personas viven en casas hechas de este material, que es muy apropiado para la región, debido a su alto valor térmico. La arcilla es un recurso abundante en las diversas localidades, aunque algunas veces su explotación conduce a la depredación de paisajes y áreas agrícolas, como lo manifiesta Vries (2012, pp. 22-23).

Hoy en día la construcción sostenible no es una práctica común en el Perú. El uso del ladrillo, representa un problema ecológico fundamental. El caso de la industria informal ladrillera no es único en el Perú, sino que está extendido por todo el mundo. En la ciudad de Trujillo se encuentran 27 ladrilleras en la provincia de Trujillo (Dirección Regional De Producción La Libertad – Sub dirección de industrias).

Todas las ladrilleras son informales y carecen de conocimientos formales sobre el proceso de producción, comercialización y gestión del negocio. El esquema de trabajo es familiar, y en la mayoría de

los casos las madres de familia y los hijos participan durante todo el proceso. Los hornos en su mayoría son del tipo artesanal de fuego directo, de geometría rectangular, de tiro natural y abierto a la atmósfera. El proceso de cocción de estas piezas fundamentales de la construcción se hace a través de la quema de leña, aceites usados, llantas, cascara de café y carbón mineral (briquetas de carbón mineral).

Para la producción de 20 millares de ladrillo utilizan la siguiente cantidad: 1 camionada de aserrín, 5 llantas y 1 tonelada de carbón dependiendo el material que tengan a disposición lo cual acarrea no solo una gran deforestación, sino una creciente emisión de CO₂, contribuyendo generosamente a la contaminación, según un informe de la Dirección Regional de Producción La Libertad en el año 2013. Además de ello, la extracción de la arcilla muchas veces se realiza en manantiales naturales, perjudicando considerablemente al ecosistema.

Tabla 1. Distribución de ladrilleras en el Departamento de La Libertad, según Dirección Regional de Producción La Libertad – Sub Dirección de Industrias, Año 2012

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	Nº DE EMPRESA
La Libertad	Trujillo	Huanchaco	1
La Libertad	Trujillo	La Esperanza	3
La Libertad	Trujillo	Laredo	2
La Libertad	Trujillo	Trujillo	11
La Libertad	Trujillo	El Porvenir	4
La Libertad	Trujillo	Víctor Larco H.	1
La Libertad	Trujillo	Moche	4

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	Nº DE EMPRESA
La Libertad	Trujillo	Florencia	1
Total			27

Fuente: elaboración propia tomado de Durand Orellana (2015).

Nota. Informe de la Dirección Regional de Producción

Es aquí donde empiezan a aparecer alternativas ecológicas de construcción. Como en la mayoría de industrias, estas opciones han avanzado a un ritmo mucho más lento que las tecnologías tradicionales, debido a intereses económicos muy poderosos.

Esta investigación pretende concienciar que el desarrollo de una ingeniería más sostenible es posible. La bioconstrucción es un campo amplio en el que se debe trabajar de forma constante para obtener nuevos logros. Este proceso es muy ambicioso por su eficiencia, con el resultado de un material de construcción sostenible con un gran potencial y capacidad de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

La propuesta es un nuevo material de construcción que elimine la emisión de CO₂ a la atmósfera, al eliminar la cocción del proceso de elaboración y utiliza niveles de compactación mínimos.

En los países económicamente más desfavorecidos como en el Perú, la contaminación ambiental pasa a un segundo plano por la carencia de recursos económicos y tecnológicos. La autoconstrucción con suelo cemento ha demostrado ser la respuesta más apropiada en varios países de Asia, África y América Latina, y quizás la solución que mejor una ambos problemas.

Los ladrillos de arcilla cocida son algunos de los materiales de construcción más importantes de todos los tiempos. Hoy, sin embargo, a la mayoría de productores les resulta cada vez más difícil competir con los productos a base de cemento. Este es considerado un producto estrella de la construcción que genera un gran impacto medio ambiental, que implica en su elaboración altos niveles de energía y una gran dependencia del petróleo. El incremento del precio del crudo, la deforestación, las nuevas normativas y regulaciones en materia medio ambiental y el aumento del costo de producción, demandan la búsqueda de alternativas para las empresas de ladrillos cocidos tradicionales.

La elaboración de ladrillos ecológicos de suelo cemento responde a las necesidades de disminuir el gasto económico, el impacto ambiental, y a la necesidad de aumentar la calidad medio ambiental.

Descripción del Proyecto

En el presente proyecto se pretende realizar estudio experimental de unidades de albañilería con la mezcla suelo-cemento que nos permita conocer las características físicas y mecánicas como alternativa ecológica en el uso en la construcción.

Para ello analizaremos mediante una muestra representativa el suelo de la cantera “La Flaca” propiedad de la empresa MEPCO, distrito el Milagro, que adicionándoles un porcentaje de cemento y agua, será procesado cuidadosamente en cuanto al mezclado, compactado y curado.

En efecto, para el inicio de esta investigación se averiguó a través de ensayos (Ensayo de granulometría, peso específico, límite líquido y límite plástico) las características físicas del suelo, ya que la naturaleza del mismo puede llevarnos a variar el diseño de mezclas a realizar. Debido a lo mencionado anteriormente, nos sugieren tener en cuenta ciertos porcentajes en los componentes del suelo, por ejemplo: Arcilla (5 a 10%), Limo (10 a 20%) y Arena (60 a 80%), que lo comprobamos mediante ensayos como: análisis granulométrico tamizado, contenido de humedad y el ensayo de la botella.

En función de los suelos locales, las maquinarias y herramientas empleadas, la proporción óptima de componentes de un suelo son el 75 % del total constituido por arena y 25 % de limo y arcilla, medido en volúmenes.

Para el diseño de mezcla y la elaboración de las unidades de albañilería se utilizó la siguiente dosificación de materiales: Cemento – Suelo – Arena – Agua 1 : 5 : 0.5 : 1.

Una vez lista la preparación del diseño de mezcla se procedió a realizar la unidad de albañilería con una máquina CINVA-RAM MODIFICADA de compresión (Fig. 01), una herramienta muy práctica y de fácil manejo.

Figura 1. CINVA RAM Modificada



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Máquina CINVA-RAM MODIFICADA utilizada.

Las unidades de albañilería tienen las dimensiones de un ladrillo cocido común (King Kong 9x13x24), y la propuesta para la unidad de suelo-cemento: 7.5x13x23 cm.

La prensa está totalmente fabricada de acero, tiene una caja de molde en la cual un pistón operado a mano, comprime una mezcla de suelo y cemento ligeramente húmedo.

Las unidades de albañilería se dejaron secar 28 días a una temperatura ambiente normal bajo sombra, considerando que el cemento obtiene a los 28 días su máxima resistencia, se hicieron las pruebas de acuerdo a la norma E-070 donde se obtuvo resultados finales de la investigación como las características física – mecánicas de esta unidad de albañilería suelo-cemento.

Objetivo General

- Determinar las características físicas y mecánicas de unidades de albañilería fabricados con suelo – cemento, en la ciudad de Trujillo; que mejore las condiciones de confort, facilite los procedimientos constructivos, satisfaga la reglamentación al respecto y, fundamentalmente en su manufactura y obtención se lleguen preservando las condiciones del medioambiente.

Objetivos Específicos

- Determinar las características de los agregados, que intervienen en la elaboración del ladrillo suelo-cemento.
- Realizar el diseño de mezclas para la elaboración.
- Describir y analizar el proceso de fabricación de ladrillos suelo-cemento.
- Realizar las pruebas experimentales respectivas que indiquen características del ladrillo suelo-cemento.
- Comparar los resultados de los ensayos de laboratorio con unidades de albañilería de arcilla.
- Evaluar el impacto ambiental en la elaboración de ladrillo suelo-cemento.

Capítulo II

Características Geométricas de la Unidad de Albañilería
Suelo-Cemento Prensada

El sistema de la Unidad de Albañilería Prensada Suelo-Cemento se ideó de tal manera que sea usada como una alternativa ecológica del ladrillo artesanal (King Kong), elaborada con una máquina CINVA RAM, construida y modificada con la finalidad de tener las dimensiones comerciales de nuestro mercado, de tal forma que el uso de estas unidades sirvan en todo tipo de construcciones donde sean necesarias.

Originalmente las dimensiones de la unidad de suelo-cemento tenían como base las medidas del ladrillo artesanal King Kong 9x13x24cm (Fig. 03), se ha variado la altura para facilitar su maniobrabilidad, para ello se modificó la altura a 7.5cm, como base para elaboración de las unidades, quedando las mismas con las siguientes dimensiones 7.5x13x23cm (Fig. 03).

La unidad de albañilería suelo-cemento es una unidad sólida y compacto, que no presenta ningún tipo de orificio en ninguna cara de su cuerpo.

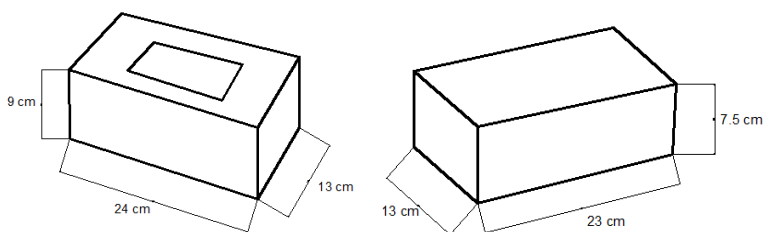
Figura 2. Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)



Fuente: Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Unidades de albañilería.

Figura 3. Dimensiones de Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Dimensiones de las unidades de albañilería.

Componentes de Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada

El conjunto de suelo, cemento y agua, dosificados y compactados, constituye el suelo-cemento.

- **Suelo**

El suelo adecuado para ser estabilizado con cemento es el que da una resistencia elevada y poca contracción al secarse. Esto significa tener aptitud para ser compactado.

Este suelo debe tener presencia de arena, limo y arcilla, aunque estos últimos en escasa proporción, a fin de que den la necesaria cohesión a la mezcla y completen la porción de contenido de fino en la curva de composición granulométrica.

Si alguno de estos componentes estuviera ausente en la composición genuina de la muestra de suelo, o estando presentes no lo hicieran en la proporción deseada, éstos deben ser adicionados hasta acercarse a la composición óptima de trabajo de la tierra para suelo-cemento. Este paso es de vital importancia para evitar que se produzcan comportamientos no deseados de la mezcla por excesiva presencia de arena.

Debido a la sobrecarga de costos que provoca el traslado y acopio de grandes volúmenes de tierra, se debe considerar como condición óptima de producción el empleo de tierra local, esta debe ser extraída a una profundidad mayor, a 30 Ó 40 cm de la superficie, o a una profundidad tal que no existan vestigios de capa vegetal.

Para reconocer la composición de la muestra de suelo se realizaron pruebas de campo, que indicaron cual es la más indicada para ser utilizada en la unidad de albañilería de ensayo.

En el caso que las pruebas demuestren ineptitud de la tierra para elaborar suelo-cemento debe evaluarse la posibilidad de agregar arena a la mezcla.

Los suelos arenosos, en función de que producen mejores resultados de compactación y resistencia al ser estabilizados con cemento son los mejores en estos casos. No obstante, la arena de un suelo constituye su estructura pero requiere de la presencia de arcilla para conglomerar su masa. En el otro sentido, para la estabilización de suelos arcillosos es indispensable la incorporación de arena.

En base de nuestra investigación, y en función de los suelos locales y la máquina empleada, la proporción óptima de componentes de un suelo es 75 % del total constituido por arena y 25 % de limo y arcilla, medido en volúmenes.

Si bien no constituyen recetas excluyentes, puesto que éstas serían imposibles de determinar, debido a las particularidades propias de cada suelo, es importante tener en cuenta que toda variación que se produzca en el porcentaje de contenido de suelo implicará nuevas relaciones con respecto a la cantidad de cemento a emplear y con el uso de la máquina CINVA-RAM MODIFICADA.

- **Cemento**

Constituye el medio estabilizante. Adicionar de cemento mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia.

Se emplea generalmente el gris normal, denominado “portland”, provisto por la industria, no excluyendo la posibilidad del empleo de otros tipos de cemento.

La dosificación del aglutinante debe ser realizada en unidades de peso en relación a la cantidad de suelo empleado para la mezcla. Ésta depende, en gran medida, del sistema de compactación adoptado:

- A menor compactación, mayor presencia de cemento
- A mayor compactación, menor presencia de cemento

- **Agua**

La función del agua es hidratar el cemento y hacerlo “reaccionar” y contribuir a la máxima compactación del suelo. El agua a añadir a la mezcla debe ser limpia y no contener materiales en suspensión o en disolución tales como sulfatos o cloruros, o materias orgánicas.

Es determinante el control de la cantidad de agua de la mezcla, ya que ésta actúa como lubricante de las partículas de la mezcla. Si resulta excesivamente húmeda o, por el contrario, seca, ambos estados se reflejan en la trabajabilidad del material y, posteriormente, en el acabado superficial, la resistencia y durabilidad del mismo.

Si no existe suficiente lubricación entre partículas, éstas difícilmente podrán ocupar los vacíos intersticiales de la mezcla en el momento de la compactación; en tanto que una mezcla por demás plástica dificultará procedimientos de compactación mecánicos y su acabado final será más parecido al adobe.

Definición de la proporción de mezcla

El suelo empleado en la elaboración de la unidad de albañilería es arenoso (Cantera “La Flaca”–El Milagro). Diversas investigaciones nos sugieren tener en cuenta ciertos porcentajes para los componentes del suelo, por ejemplo: Arcilla y Limo (20–40%) y Arena (60 a 80%). Pero para nuestra investigación hemos optado por tener los siguientes porcentajes: Arcilla y Limo (25%) y Arena (75%).

El suelo empleado para la elaboración de las unidades de albañilería presenta las siguientes características: Arcilla y Limo (31%) y Arena (69%).

Tabla 2. Porcentajes seleccionados de arcilla, limo y arena para la investigación

Material	Rangos establecidos por investigaciones	Porcentaje optado para esta investigación	Porcentaje del suelo extraído
Arcilla y Limo	20 – 40 %	25 %	31%
Arena	60 – 80 %	75 %	69%

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados del ensayo de granulometría.

Debido a que el porcentaje de arena es inferior al establecido y para evitar problemas de fisuración por contracción de secado, se optó por añadir 6% de arena fina para cumplir con los requisitos establecido para la investigación.

El cemento es el factor principal que influye en la resistencia de las unidades, debido a ello se consideró añadir el 20% del peso total. Así mismo con respecto a la cantidad de agua, no siempre es exactamente la misma, ya que algunas veces puede quedar la mezcla excesivamente húmeda o muy seca, por ello se fue verificando dicha cantidad en las pruebas de campo.

La proporción volumétrica fue la siguiente:

Tabla 3. Diseño de Mezclas

Componentes	Diseño de Mezcla
Cemento – Suelo – Arena – Agua	1 : 5 : 0.5 : 1

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados de las pruebas realizadas.

• **Mortero**

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

Componentes:

- a) Los materiales aglomerantes del mortero pueden ser:
 - Cemento Portland o cemento adicionado normalizado y cal hidratada normalizada de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas correspondientes.
- b) El agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales.

Se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de

pilas y muretes proporcionen resistencias según lo especificado en los planos.

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
 - El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.
 - El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
 - No deberá emplearse arena de mar.
- c) El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

- **Clasificación para fines estructurales**

Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes (ver la Tabla 4).

- **Proporciones**

Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto) indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de Morteros

Tipos de Morteros				
Componentes				Usos
Tipo	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a 1/4	3 a 31/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Norma Técnica Peruana E 070

- a. Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o pre-mezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas.
- b. De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 4.

Entre otras investigaciones recientes realizadas que nos servirá como base podemos mencionar:

Producción de ladrillos de suelo-cemento. Una Alternativa eficiente, económica y sustentable

Según la Arq. Mariana Gatani, de Córdoba-Argentina, en sus estudios realizado en el año 2000, concluye que:

El material para usar en la fabricación de ladrillos de suelo-cemento se debe extraer a una profundidad mayor a 40 cm para quitar la capa vegetal superficial, siendo la proporción óptima es 75 % de arena y 25 % de limo y arcilla. Siendo indispensable manejar la dosificación de cemento y la selección de los procedimientos de moldeo y compactación.

La dosificación del cemento mucho depende del sistema de compactación: A menor compactación o compactación manual, mayor presencia de cemento y a mayor compactación o compactación mecánica, menor presencia de cemento.

Con proporciones óptimas de arena, limo y arcilla; el dosaje adecuado es 9 partes de suelo por cada parte de cemento, medidos en volumen.

Para la fabricación de ladrillos de suelo-cemento se sugieren seguir los siguientes pasos: Tamizado del suelo, mezclado en seco, agregado de agua, compactación, acopio y curado.

Las dimensiones utilizadas son de 12.5 x 5 x 26.5 cm, idénticas de los ladrillos cocidos, pero a través de un análisis de costos se demostró que con el mismo costo de fabricación de un millar de ladrillos cocidos se puede elaborar 9091 ladrillos de suelo-cemento, siendo una alternativa económica viable.

El aspecto superficial de los ladrillos de suelos-cemento presentan una regularidad dimensional estable, con una textura suave al tacto y de color gris (esto depende de la tierra empleada y esta de sus componentes).

Las características físicas del ladrillo de suelo-cemento frente al común son las siguientes:

Ladrillo común

- Peso específico: 1519 kg/cm³
- Resistencia a la compresión: 78 kg/cm²
- Contenido de Humedad: 2.0%
- Ladrillo suelo-cemento
- Peso específico: 1851 kg/cm³
- Resistencia a la compresión: 121.80 kg/cm²
- Contenido de Humedad: 0.8%

El suelo – cemento como material de construcción

Según José Toirac Corral, Republica Dominicana, 2008, Páginas: 520 – 571, comenta que para la mezcla de suelo-cemento, definieron los suelos en dos tipos: suelos eficientes y suelos ineficientes.

Suelos eficientes: son aquellos que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento.

Suelos deficientes: estos que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir,

necesitan mucho cemento para poder endurecer.

Llegando a obtener el suelo ideal para la mezcla suelo-cemento con las siguientes características:

- Máximo agregado de arena 80% (optimo del 55% al 75%)
- Máximo agregado de limo 30% (optimo 0% al 28%)
- Máximo agregado de arcilla 50% (optimo 15% al 18%)
- Máximo agregado de materia orgánica 3%
- Debe pasar por un tamiz de 4.78 mm (#4)

En la producción de elementos de suelo-cemento de forma organizada está dirigida a tres tipologías muy definidas que son:

- Construcciones a base de elementos unitarios de pequeñas dimensiones como blocks o ladrillos.
- Construcción de elementos unitario de mayores dimensiones como paneles.
- Construcción de muros en el lugar a base del apisonado (compactado) de la mezcla dentro de sistema modulares de encofrados transferibles.

Estudios de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento

El Ing. Mas, en sus estudios realizados en el 2009 propone la utilización de bloques de suelo-cemento en la construcción de viviendas de interés social es una manera simple de aprovechar uno de los recursos naturales más abundante con los que cuentan los sectores más desprotegidos de la sociedad. Entre sus principales ventajas se destacan que:

- La materia prima principal es tierra, material natural, abundante, económico, no contaminante, fácilmente extraíble y al alcance de todos.
- El uso de prensas manuales como técnica de fabricación de bloques de tierra cruda, no solo requiere menor energía de transformación respecto de otros materiales “industriales” como por ejemplo los ladrillos cerámicos comunes, sino que además, permite desarrollar numerosas variantes en los procedimientos constructivos, en las dimensiones de los mampuestos, por lo que son fácilmente adaptables a diversos requerimientos de los usuarios y de las condicionantes ambientales del lugar. Otra ventaja es que posibilita a los beneficiarios intervenir en los procesos constructivos de su propio hábitat, desarrollando procesos de autoconstrucción, con la consecuente economía en mano de obra.

- La resistencia a compresión simple en bloques de suelo-cemento depende de muchos factores tales como: contenido y tipo de cemento; eficiencia del mezclado; cantidad de materia orgánica y sales existentes en el suelo; cantidad y calidad del agua usada.

Evaluación de las Características Estructurales de la Albañilería producida con Unidades Fabricadas en La Región Central Junín

La Ing. Dionisia Rosa Aguirre Gaspar, en esta su tesis llega a las siguientes conclusiones: Que los ensayos de la unidad (variación dimensional, alabeo, compresión, absorción, densidad, succión y tracción por flexión) tienen como resultados que las unidades ensayadas a compresión no alcanzan el valor mínimo especificado en la Norma E.070 vigente, siendo el promedio de las cuatro zonas de 39.4 kg/cm²; sin embargo, con los resultados de los otros ensayos, estas clasifican como II o III.

Ladrillo Ecológico como material sostenible para la construcción

María Cabo Laguna, de España después de hacer investigación sobre esta propuesta de material de construcción manifiesta que los ladrillos de arcilla cocida son algunos de los materiales de construcción más importantes de todos los tiempos. Hoy, sin embargo, a la mayoría de productores les resulta cada vez más difícil

competir con los productos a base de cemento. Este es considerado un producto estrella de la construcción que genera un gran impacto medio ambiental, que implica en su elaboración altos niveles de energía y una gran dependencia del petróleo. El incremento del precio del crudo desde el año 2008, la deforestación, las nuevas normativas y regulaciones en materia medio ambiental y el aumento del coste de producción, demandan la búsqueda de alternativas para las empresas de ladrillos cocidos tradicionales.

Estudio de Análisis de ciclo de vida de ladrillos y bloques de concreto San Jerónimo – Cusco

La Pontificia Universidad Católica del Perú, La red peruana ciclo de vida y la Agencia Suiza para el desarrollo y la operación COSUDE, en el año 2012, hacen un estudio del impacto ambiental con relación a las emisiones de CO₂-eq, y concluye que la obtención de un ladrillo mecanizado impacta al ambiente en un 36% más que la obtención de un ladrillo artesanal, debido al consumo de energía y transporte de los materiales y los insumos en producción de ladrillos mecanizados.

Justificación

La elaboración de este tipo de unidad de albañilería responde a las necesidades de disminuir el gasto energético y el impacto ambiental provocado por subproductos provenientes de cultivos agrícolas e industriales, y a la necesidad de aumentar la calidad medio ambiental.

En el presente proyecto se pretende realizar estudio experimental de la mezcla suelo-cemento que nos permita conocer las características físicas y mecánicas como alternativa de la construcción sostenible integradas con políticas ambientales sociales (Salud-Pobreza).

Asimismo, el proyecto estará orientado a evaluar el impacto ambiental del ladrillo de suelo-cemento, específicamente sobre el medio ambiente, se usará el análisis de ciclo de vida (ACV) que es una herramienta que cuantifica el impacto ambiental de un producto, tomando en cuenta diversas etapas, desde la obtención de la materia prima, producción, distribución, uso, hasta su disposición final.

El principio de análisis de ciclo de vida, implica que los insumos de la construcción sean analizados desde la etapa de explotación de los recursos naturales y generación de energía requerida, hasta la disposición final de los residuos generados directa o indirectamente. Haciendo uso de esta metodología ACV se puede tener ciertos criterios de selección de materiales a usar; o utilizar esta herramienta con fines de análisis comparativos entre alternativas. La escala de valores son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Factor Sostenibilidad e Impacto Ambiental

Descripción	Valor
Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua, suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica no son reutilizables.	0-25
Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua y/o suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica son reutilizables.	25 - 50

Descripción	Valor
Impacto ambiental mínimo en el agua y en el suelo. Todo el material que compone la técnica es reutilizable.	50 – 75
No hay impacto ambiental por actividad antrópica.	75–100

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Estudio de impacto al medio ambiente de ladrilleras en la ciudad de Trujillo.

Si bien existen leyes ambientales, en la práctica éstas no están articuladas con las leyes de construcción. El Código Nacional de Construcción (Reglamento Nacional de Edificaciones) ha sido actualizado recientemente, luego de algunas décadas, y fue desaprovechado por los profesionales para articular estas dos leyes.

Sin embargo, es importante mencionar que en el proceso de búsqueda y estudio de normas y reglamentos internacionales del marco de la construcción con tierra cruda se han localizado 55 documentos, según J. Cid en 2011.

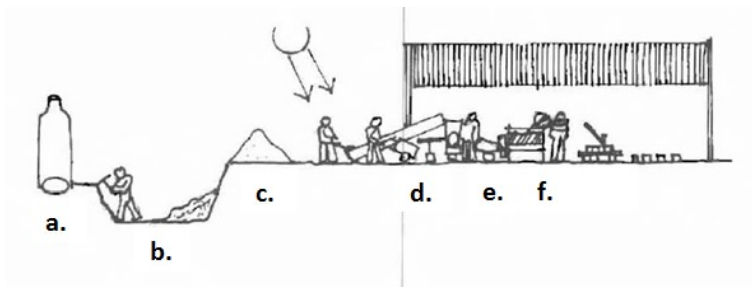
Capítulo III

Proceso de elaboración de la unidad de albañilería: mezcla suelo-arena-cemento/agua

En función a la unidad a elaborar se organizan las etapas de producción en relación a la técnica seleccionada. Esto es diseño de los métodos, disponibilidad de materiales, mano de obra y del equipamiento técnico necesario. Para la elaboración de ladrillos de suelo-cemento las etapas generales del procedimiento de elaboración consisten en:

- a. Selección del suelo
- b. Extracción del suelo
- c. Secado
- d. Tamizado
- e. Mezclado de componentes en seco
- f. Adición de agua

Figura 4. Procedimiento para la elaboración de unidades de suelo-cemento



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Bosquejo del procedimiento.

a) Selección del suelo

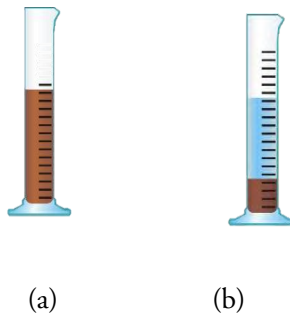
Para la etapa de la elección del suelo, el “método experimental” más sencillo y eficaz es el método de decantación conocido como “método de la botella”. Realizado con una botella transparente o una probeta calibrada, arroja resultados casi inmediatos sobre los contenidos y proporciones de la tierra considerada. Sin embargo estos datos tienen que ser corroborados con ensayos de laboratorio: ensayo de granulometría por tamizado.

Básicamente consiste en la precipitación de una mezcla acuosa de una muestra de suelo (75 % de agua, 25 % de suelo). Luego, se bate muy bien el recipiente, dejándolo reposar durante por lo menos 45' Ver Figura 5 (a).

Para el método experimental de la botella, primero se debe identificar el contenido de arena, de granos gruesos, que decantará en primer lugar. Sobre ésta se asentará el limo y la arcilla, de partículas más pequeñas.

El tiempo de decantación varió en función de la cantidad de contenido fino de la mezcla. Cuanto más pequeñas y livianas sean las partículas en suspensión, más tardó en precipitar Ver Figura 5 (b).

Figura 5. Método de la botella



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados de los ensayos.

Esta prueba permite comparar rápidamente distintas muestras de suelo, para optar por alguna de ellas o, simplemente, permite ir evaluando la modificación del contenido porcentual de la muestra a medida que se adiciona arena.

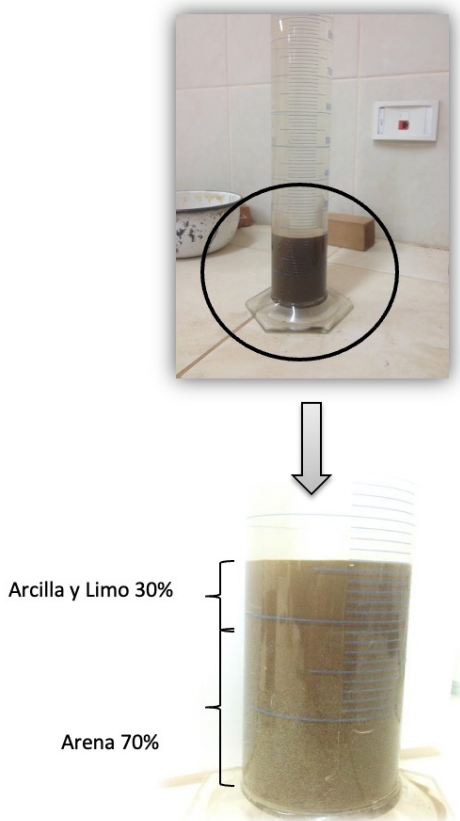
Se compararon los resultados de 2 muestras de suelo de distintas canteras de la ciudad de Trujillo: en una de ellas, el contenido de arena no alcanza a ser suficiente, y en la última, la muestra examinada cumple con las condiciones predeterminadas.

La primera muestra sólo contiene arena en el 60 % del contenido total. Esto es, 40 % de limo y arcilla. Se propone incrementar la cantidad de arena por adición de la misma hasta alcanzar el 75 % deseado.

La segunda muestra y seleccionada para la investigación, contiene arena en el 70 % aproximadamente del contenido total. La

cantidad total de limo y arcilla alcanza el 30 % del volumen. Cabe resaltar que los resultados se corroborarán luego a través de ensayos de granulometría en un laboratorio.

Figura 6. Método de la Botella (Ensayo realizado en el Lab. De Suelos – UPAO)



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Se observa las capas del suelo.

La primera capa identificable estará constituida por el material más grueso, generalmente arena, donde se podrá identificar los diferentes tamaños de grano, sobre ésta se asentará la arcilla. La última capa estará constituida por el material más polvoriento que es el limo, y de color más pardo que la arcilla.

De existir presencia de humus en la muestra seleccionada para el ensayo, éste quedará en suspensión por un par de días, hasta asentarse finalmente.

Esta prueba permite comparar rápidamente modificaciones en las propiedades sobre distintas muestras de suelo; por ejemplo, con la adición de arena.

b) Extracción del suelo

La tierra a emplear para la elaboración de suelo-cemento puede ser comprada o extraída de canteras y trasladarse hasta la planta de elaboración de las unidades de albañilería de suelo-cemento comprimido. Para ello se extrajo de la cantera “La Flaca” 750 kg aproximadamente de tierra, que posteriormente fueron trasladadas a las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego.

Además puede extraerse tierra del lugar donde se va a efectuar el moldeo, con el consiguiente ahorro en costes del material, traslado y descarga.

Al extraer tierra del lugar, es necesario desechar la primera capa vegetal y asegurarse de no extraer material orgánico.

El límite de la profundidad de extracción estará dado por la densidad de rocas de gran tamaño y por el alcance de las herramientas y técnicas empleadas.

c) Secado

Especialmente si la tierra ha sido extraída del lugar y a profundidad considerable es posible que contenga un gran porcentaje de humedad.

Con excesiva humedad resulta muy difícil realizar el tamizado, debido a la cohesión entre partículas; para lo cual es necesario esparcir la tierra uniformemente, con un espesor no mayor de 30 cm para que el aire y el sol penetren en la totalidad del volumen de tierra, sobre una superficie plana y seca, como, por ejemplo, una platea de hormigón.

Cuanto más seco y más granular sea el suelo, la mezcla será más homogénea, favoreciendo así la estabilización.

d) Tamizado

Con el objeto de eliminar partículas superiores a $\frac{1}{4}$ " (6.35mm), es recomendable pasar la tierra por una zaranda o tamiz. Esta tarea no sólo asegurará una eficiente compactación sino que promovió el correcto uso y mantenimiento de los equipos mecánicos empleados. Para el tamizado de nuestro suelo se ha utilizado una malla simple sobre un recipiente, y de forma manual se zarandeo la muestra.

El tamizado más corriente que se realiza en forma manual. Para mayor eficiencia se puede hacer uso de una máquina trituradora de terrones y tamizadora de tierra, de sencilla ejecución y manejo.

Figura 7. Tamizado del suelo



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. El procedimiento de tamizado del suelo.

Máquina tamizadora y trituradora de terrones

Básicamente consiste en una tolva dentro de la cual se vuelca la tierra, donde martillos giran sobre un eje aplastando los terrones de tierra.

En la parte inferior se aloja una malla con perforaciones, donde necesariamente debe pasar la tierra pulverizada para llegar a la carretilla en espera y ser trasladada hacia la etapa de mezclado con el agente aglutinante.

e) Dosificación y mezclado de componentes en seco

La cantidad de aglutinante necesario para la estabilización, en este caso cemento, dependerá de las características del suelo y del mecanismo de compactación seleccionado.

En la investigación, se hace uso de suelos a base de contenidos próximos a 75% de arena y 25 % de limo y arcilla, para lo cual el estabilizante ascendió a un porcentaje entre el 15 y 20% de cantidad de suelo medido en peso, con empleo de técnicas mecánicas de compactación, dando como resultado componentes de las características descritas.

Sin embargo nuestro suelo seleccionado presenta un porcentaje de arena inferior (69%) a lo establecido anteriormente, en este punto procedemos agregar la diferencia que vendría a ser el 6% del mismo. Debido a esto se procede a agregar la arena con el suelo tamizado como primer paso.

Es muy importante que el suelo, la arena y el cemento sean premezclados en seco, previo a la adición de agua, hasta .obtener una mezcla de color uniforme.

La forma tradicional se realiza mayormente mezclando los componentes a través de palanas, pero debido a que realizamos la

mezcla en pocas proporciones tan solo hicimos uso de una batea con un badilejo.

Para la combinación de nuestros componentes nos hemos guiado de acuerdo a nuestro de diseño de mezclas:

Cemento – Suelo – Arena – Agua 1 : 5 : 0.5 : 1

Obteniendo las siguientes cantidades para la elaboración de cuatro unidades de albañilería.

Tabla 6. Cantidad en Kg para la elaboración de cuatro unidades de albañilería

Material	Cantidad (Kg)
Cemento	2.60
Suelo	13.00
Arena	1.30

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resumen para la dosificación.

Inicialmente se procede agregar la arena al suelo zarandeado, hasta obtener una mezcla de un solo color. Posteriormente agregamos el cemento (20%) de tal forma que la combinación final presente una misma homogeneidad.

Figura 8. Suelo tamizado y mezclado con la arena



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Preparación de la muestra.

Figura 9. Mezcla del suelo y el cemento



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Preparación de la mezcla con cemento.

En caso de tener las posibilidades es conveniente realizar la operación de mezclado de los componentes en una mezcladora. Éstas son máquinas sencillas, que consisten, esencialmente, en un eje con paletas mezcladoras, que barren las paredes laterales de una batea, impulsadas por un motor.

En la preparación de suelo-cemento, al trabajar con mezclas no plásticas, se recomienda usar mezcladoras de eje horizontal debido a que evitan la formación de grumos por efecto del escaso contenido de humedad de la mezcla.

De esta manera, la mezcla es removida -y no golpeada-, como en la mezcladora común de concreto o “perita”, evitando la formación de grumos que son difícilmente eliminados con la compactación, con las consecuencias previsibles en el acabado superficial de las unidades de albañilería.

f) Adición de agua

La incorporación de agua es necesaria porque activa la acción cohesiva de las arcillas. Actúa como lubricante para mejorar la compresión y activa la reacción con el cemento.

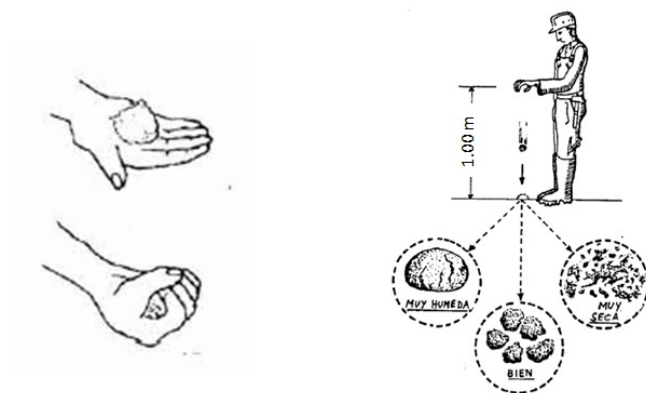
Una vez lograda la mezcla íntima de suelo y cemento en seco, se le agrega agua en forma de lluvia con una regadera o similar, hasta conseguir que la humedad se distribuya uniformemente en la mezcla.

La proporción que se añadió de acuerdo al diseño de mezcla fue de 2.6 litros aproximadamente. Se continúa mezclando por unos

minutos, y mediante un sencillo ensayo de campo conocido como la “prueba de la muñeca”, se determina, en forma práctica, la humedad óptima de la mezcla:

- Se toma un puñado de tierra humedecida y se aprieta con la mano.
- Se deja caer desde la altura de 1 metro.

Figura 10. Prueba de humedad óptima



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Norma técnica Peruana E 080

El resultado de la observación puede determinar las siguientes situaciones:

- La mezcla no se rompe y, al caer, se aplasta, dejando parte de la mezcla pegada en la mano, hay “Exceso de agua”.

- La mezcla se desintegra, en una cantidad considerable de terrones, semejante a la mezcla original, “La humedad es óptima”.
- La mezcla se desmorona sin conservar la forma de la mano, hay “Insuficiencia de Agua”.

Figura 11. Adición del agua a la mezcla



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Mezcla con agua.

Ensayos Preliminares al suelo extraído

A través de estos ensayos, se ha podido determinar datos que nos brindan información relevante acerca del tipo de suelo que estamos empleando en esta investigación. Los datos obtenidos serán descritos en el capítulo de resultados.

a) Ensayo de granulometría por tamizado (húmedo y seco)

Tiene como objetivo determinar la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo, entendiéndose por tamaño de las partículas al diámetro de ellas. Los tamaños de las partículas nos determinan el tipo de suelo con que estamos tratando, es decir si el suelo es grueso o fino.

La distribución granulométrica se presenta en un gráfico Semilogartímico (abertura del tamiz vs. Porcentaje que pasa). Para realizar el análisis granulométrico de las muestra de este estudio se realizaron los siguientes ensayos.

- **Análisis granulométrico por tamizado**

Se utiliza para diámetros de las partículas entre 2" y 0.074 mm, es decir para gravas (2"-2mm) y arenas (2mm-0.074mm). Consiste en tomar una muestra respectiva del suelo y hacerla pasar por diversos tamices, el peso retenido en cada tamiz luego se transforma en porcentaje y luego se elabora el gráfico.

b) Contenido de humedad

El objetivo es determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo y expresarlo en porcentaje. Esto se logra secando una muestra de suelo previamente pesada, en el horno

por un lapso de 12 a 18 horas a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y luego volver a pesar la muestra ya seca entonces por diferencia de peso inicial (húmedo) y final (seco) obtendremos dicha cantidad de agua en la muestra, de acorde con la norma

Su conocimiento es necesario en el control de la compactación, en la determinación de los límites de consistencia de los suelos, y en cálculo de la estabilidad de todos los tipos de trabajo con suelos y cimentaciones, por ser la condición de inicio a mayor riesgo a la estabilidad.

c) Límite líquido y límite plástico

Estos ensayos sirven para expresar cuantitativamente el efecto de la variación del contenido de humedad de las características de plasticidad de un suelo cohesivo.

Los límites líquido y plástico han sido utilizados ampliamente en todas las regiones del mundo, principalmente con objetivos de identificación y clasificación de suelos. Nos dan una idea de la plasticidad de un suelo. De acorde con la normatividad vigente.

- **Límite líquido**

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

- Límite plástico

Es el contenido de humedad por debajo por cual se puede considerar el suelo como un material no plástico.

d) Gravedad específica

Este ensayo se realiza con el objeto de encontrar la relación del peso en el aire de un volumen de suelo y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, realizándose la prueba por temperatura constante.

La gravedad específica, es una propiedad característica y necesaria de los suelos, su uso en cálculos es un factor auxiliar en la determinación de otras propiedades como: la porosidad, relación de vacíos de suelos. También se considera como una unidad de peso, se aplica a muchos fines como la determinación de la velocidad de sedimentación en un fluido viscoso, en función a su tamaño y el tiempo de caída en el método de hidrómetro.

También es usado en la consolidación de las arcillas, en el cálculo del grado de saturación de las tierras o suelos y en el estudio de la compactación de suelos.

El ensayo de gravedad específica, es de cierto modo directo por el gran problema que representa el remover el aire que puede quedar atrapado en el volumen del suelo.

La Máquina Prensadora CINVA RAM – MODIFICADA (Compactadora)

A principio de la década de los cincuenta, el ingeniero chileno Raúl Ramírez, en un despliegue de creatividad e ingenio admirable, desarrolló para el centro interamericano de vivienda y planteamiento (CINVA), con sede en Bogotá, Colombia, una prensa de operación manual para fabricar unidades para construcción, usando suelo-cemento como materia prima. La máquina alcanzaría pronto fama internacional con el nombre CINVA RAM.

Básicamente la CINVA RAM consta de una caja o molde dentro del cual un pistón actuado por un dispositivo de palanca en sentido inverso, el

mismo pistón expulsa la unidad, el cual es retirado manualmente para ser puesto a curar a la sombra y en húmedo por un periodo mínimo de siete días. No obstante de tratarse de un aparato sumamente portátil, de gran simplicidad mecánica, bajo costo, fácil manejo y mantenimiento sencillo, la CINVA RAM es capaz de moldear a alta presión, unidades densas y bien conformadas de la más alta calidad, a razón de unas 120 unidades por jornada de ocho horas

Nuestra maquina compactadora es un equipo portátil fabricado en Trujillo e instalado mediante pernos sobre una base de madera simple en las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego. Este aparato metálico es de funcionamiento manual. El molde presenta la sección transversal de la unidad de albañilería, mientras que la tapa superior es giratoria en su plano

y fija verticalmente. La base es una plancha de metal. La presión se ejerce sobre la base metálica de abajo hacia arriba, accionando manualmente una palanca que desplaza verticalmente a la unidad de albañilería, el cual reacciona contra la tapa.

Figura 11. CINVA RAM – Modificada



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Máquina empleada para el ensayo.

Elaboración de la Unidad de Albañilería

Mediante la operación de compactación, la mezcla suelta se comprime hasta un cierto límite, disminuyendo su volumen inicial y transformándose en una masa más compacta y con un mínimo de vacíos.

Existen diversas maneras de realizar la compactación, ya se trate de moldes manuales o máquinas moldeadoras (CINVA RAM – MODIFICADA).

El procedimiento se asemeja más a una técnica tradicional

de moldeo de “adobe” que a una producción con calidad técnica de mampuestos de suelo-cemento, debido a lo artesanal de su procedimiento: baja compactación, baja productividad y calidad discontinua.

Entre las máquinas moldeadoras existe la conocida CIMV A-RAM, de fabricación individual de molones de suelo-cemento. Esta máquina produce ladrillos y unidades de albañilería de suelo-cemento de excelente calidad, cuyo esquema de funcionamiento está basado en la fuerza de compresión que produce un hombre a través de una palanca.

La máquina utilizada en el experimento se construyó con los planos de la CINVA RAM, pero se llegó a modificar ya que de esta forma podemos variar la altura de la unidad de albañilería, obteniendo de esta manera mayor semejanza al ladrillo comercial denominándola CINVA RAM MODIFICADA.

Una vez preparada la mezcla húmeda, realizada al instante en que se fabrica la unidad de albañilería, se le limpia el molde la maquina CINVA RAM MODIFICADA, roseando un poco de arena fina para facilitar posteriormente la extracción de la unidad y con una pala se deposita la mezcla en el molde (Fig.12), para luego enrasarla con la mano y cerrar la tapa.

Figura 12. Mezcla depositada en la CINVA-RAM



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Preparación del adobe.

Posteriormente, se levanta la palanca (Fig.13) para ejercer presión sobre la base metálica, desplazándose verticalmente la unidad de albañilería hacia arriba reaccionando contra la tapa.

Figura 13. Compactación del material



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Funcionamiento de la máquina.

Para desmoldar, se abre la tapa girándola horizontalmente y se acciona la palanca en sentido contrario (Fig.14), luego se lleva la unidad de albañilería al lugar donde tendrá su curado y acopio colocándolo de canto (Fig.15).

Figura 14. Extracción de la unidad compactada



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Proceso de elaboración del ladrillo.

El rendimiento observado en la fabricación de las unidades de albañilería, trabajando con 2 hombres (1 preparando la mezcla y 1 fabricando la unidad de albañilería), fue de 1 unidad de albañilería cada 4 minutos.

En total se fabricaron 150 unidades de albañilería (Fig.15), dejándolos secar durante 28 días antes de emplearlos en la construcción de los especímenes, aunque, debido a su poca humedad, pudo observarse que a los 14 días estaban superficialmente secos.

- Curado y acopio

Para asegurar el fraguado eficiente de los ladrillos, éstos deben ser almacenados con una adecuada protección frente al sol y la lluvia.

Al igual que las piezas moldeadas en cemento u hormigón, durante las primeras 24 horas de su fabricación de los ladrillos debe controlarse que no se produzcan pérdidas bruscas de humedad.

Posteriormente se trasladan los ladrillos a la pila donde se almacenarán, recomendándose humedecer éstos con una regadera. Es conveniente mantener el riego hasta los 8 días de edad.

Los ladrillos podrán ser empleados en construcción a partir de los 28 días de fabricación. Al término de ese tiempo habrán alcanzado una resistencia muy cercana a la máxima.

Figura 15. Curado y acopio de las unidades

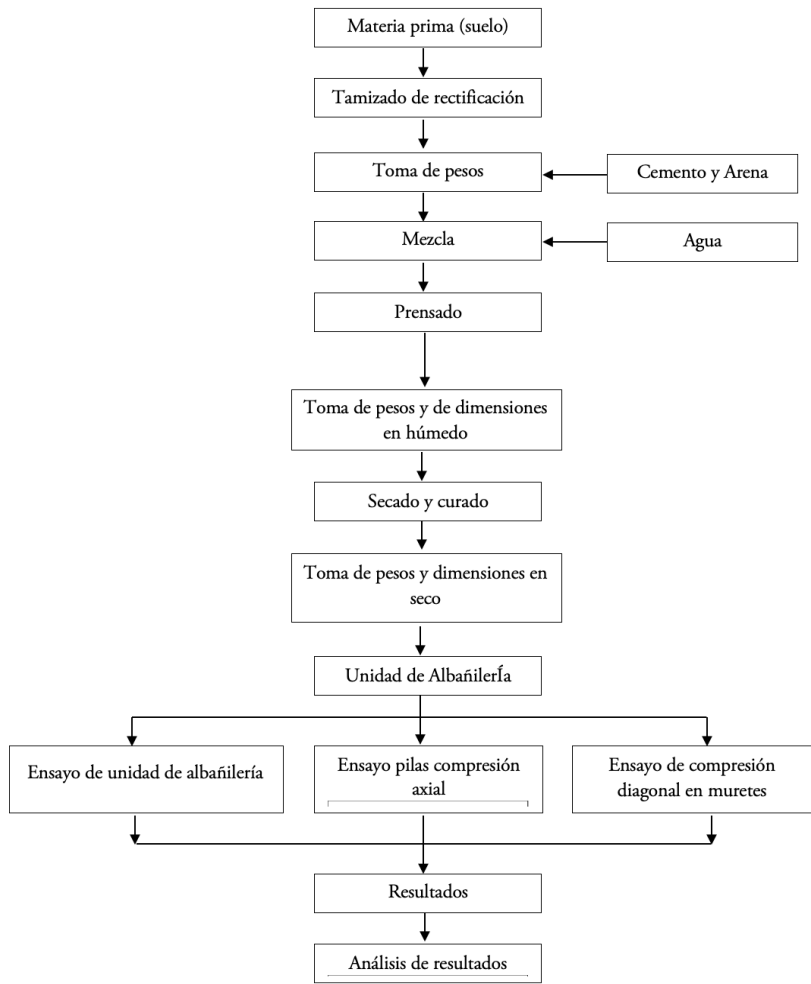


Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Secado de las unidades de albañilería.

Procedimiento experimental

Figura 16. Procedimiento Experimental



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Diagrama de flujo del procedimiento de elaboración.

Capítulo IV

Características de los especímenes

Para todos los especímenes de albañilería con la unidad de albañilería prensada, las juntas horizontales de mortero tuvieron un espesor de 1 a 1.5 cm. Este mortero constituido por cemento, cal y arena, tuvo las siguientes proporciones volumétricas 1 : $\frac{1}{2}$: 4 respectivamente.

Características de las Pilas

Las pilas de albañilería son prismas compuestos por dos o más hiladas de unidades enteras (ladrillos o bloques) asentadas una sobre la otra mediante mortero, con una altura total que no debe ser excesiva a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte dentro del laboratorio.

Estas pilas, con una edad nominal de 28 días, se ensayan a compresión axial y los resultados se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de un edificio, así como para controlar la calidad de la construcción de la albañilería. Sin embargo, la resistencia a compresión axial de las pilas ($f'm$) depende de la relación altura-espesor o esbeltez).

Para definir la altura de las pilas de albañilería, se consideró la facilidad constructiva empleando un número entero de unidades (entre 2 y 5 unidades), el almacenaje en obra, la maniobrabilidad en el laboratorio e instalarlas en la máquina de ensayos. Así, por ejemplo, se descartaron las pilas de 4 y 5 hiladas por ser grandes, pesadas y no caber en la máquina de compresión. Considerando los puntos mencionados, las pilas hechas con unidades de albañilería suelo cemento se construyeron de 2 y 3 hiladas.

Figura 17. Pilas de albañilería sujeta compresión axial

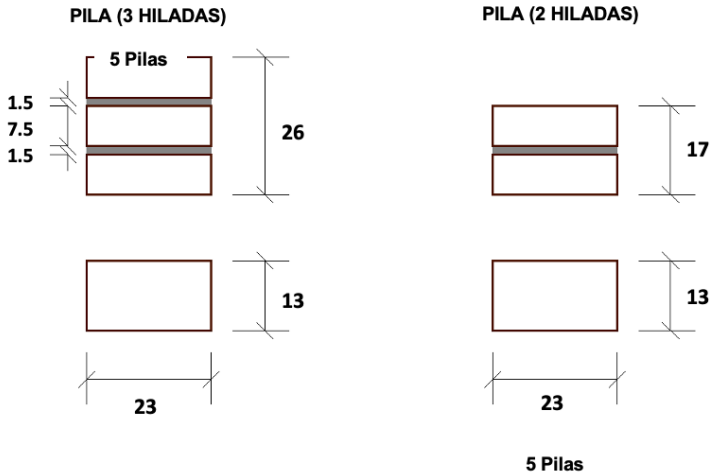


Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la UPAO.

En total se construyeron dos grupos de 5 pilas, de tres y dos hiladas cada uno, de acuerdo a las especificaciones indicadas en la Fig.17.

Figura 18. Características de las Pilas. Medidas en centímetros.



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Mortero: 1 : ½ : 4 (Cemento Cal Arena)

Los prismas fueron almacenados a una temperatura no menor de 10°C durante 28 días. Los prismas podrán ensayarse a menor edad que la nominal de 28 días pero no menor de 14 días; en este caso, la resistencia característica se obtendrá incrementándola por los factores mostrados en la tabla N° 7.

Tabla 7. Incremento de $f'm$ y $v'm$ por edad

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: Durand Orellana (2015).

Nota. NTP E 070

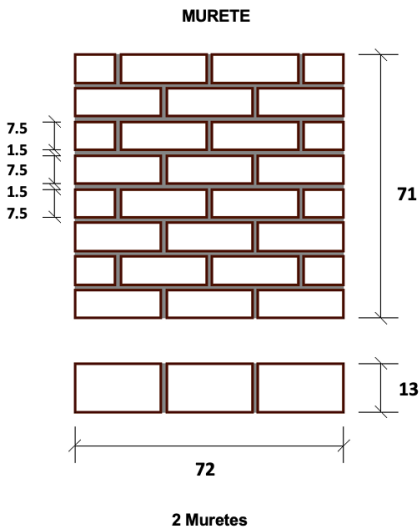
Características de los Muretes

El murete es una probeta con una longitud de al menos una vez y media la máxima dimensión de la pieza (unidad o bloque) y con el número de hiladas para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. El aparejo de las piezas debe ser igual al que se use en obra.

Cuando se requiera evaluar la resistencia y rigidez de sistemas de refuerzo de mampostería, o bien cuando las características de la mampostería no se puedan representar en el tamaño del murete se recomienda que las dimensiones del murete de albañilería sean por lo menos de 60 cm y que sea un murete en forma cuadrada, afín de obtener resultados representativos con el objeto de poder manipularlos tanto en el transporte a un laboratorio, como en el montaje en los dispositivos de ensayo.

En total se construyeron dos muretes de acuerdo a las especificaciones indicadas en la figura 19.

Figura 19. Características de los Muretes. Medidas en centímetros.



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Mortero: 1 : ½ : 4 (Cemento Cal Arena)

Capítulo V

Construcción de los especímenes

Lineamientos Generales

Se iniciaron los trabajos realizando la mezcla del mortero en un recipiente, donde utilizamos la siguiente relación para la misma: 1: $\frac{1}{2}$: 4, correspondiente a cemento, cal y arena; los cuales fueron medidos en volúmenes. Posteriormente se agregó el agua como punto final a la mezcla.

Figura 20. Elaboración del mortero 1:1/2:4 (Cemento, Cal y Arena)



Fuente: Durand Orellana (2015),

Nota. Proceso realizado en el Laboratorio de Materiales de la UPAO.

En el proceso de asentado, la unidad de albañilería fue humedecida con agua mediante un recipiente durante medio minuto, con el fin de que no requiera absorber humedad de la mezcla (mortero).

Figura 21. Humedeciendo las unidades de Suelo-Cemento



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Ensayo de absorción.

El recorte de las unidades de albañilería enteros en medios unidades se realizó mediante una picota. El control del grosor (1.5cm) de la junta horizontal se hizo utilizando un escantillón. Para nivelar horizontalmente a las unidades de albañilería ubicados en los extremos del muro, se usó un nivel de burbuja, y para nivelar verticalmente a estas unidades de albañilería se empleó una plomada.

Figura 22. Verificando el grosor de la junta horizontal



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Ensayo de variación dimensional.

Figura 23. Asentando la media unidad de albañilería en la parte extrema del murete



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. preparación del murete.

Una vez asentados las unidades de albañilería, ubicadas en los extremos del muro (unidades maestras asentados utilizando el escantillón, el nivel y la plomada), se utilizó una regla para alinear horizontalmente a las unidades internos del muro.

Figura 24. Asentando las unidades de albañilería antes de su nivelación



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Elevación del murete.

Figura 25. Rellenando las juntas verticales



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. El murete asentado con el mortero respectivo.

Pilas

Siguiéndose los lineamientos anteriores, se construyeron dos grupos de 5 pilas, de tres y dos hiladas cada uno. Las unidades se asentaron en su estado natural, previa limpieza, por lo que a la mezcla de mortero embolsado se le añadió cal hidratada y normalizada para hacerla más retentiva, cuya relación fue, cemento: cal: arena de 1: $\frac{1}{2}$: 4.

Figura 26. Construcción de Pilas



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Elaboración de pilas de 3 unidades.

Figura 27. Pilas construidas de tres hiladas



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Secado de las pilas de albañilería.

Muretes

Se construyeron 2 muretes (Fig.28). Las unidades se asentaron en su estado natural, previa limpieza, por lo que a la mezcla de mortero embolsado se le añadió cal hidratada y normalizada para hacerla más retentiva, cuya relación fue, cemento: cal: arena de 1: $\frac{1}{2}$: 4.

Figura 28. Construcción de Muretes



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Comprobando verticalidad del murete.

Figura 29. Muretes contruidos de 72x72cm



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Secado de muretes.

Capítulo VI

Ensayos de la unidad de albañilería prensada

Ensayo de Unidades de Albañilería

En total se ensayaron 10 unidades de albañilería a variación de dimensiones, alabeo, succión y absorción, mientras que a compresión se ensayaron 5 unidades.

Variación de Dimensiones y Alabeo

Para ambos ensayos se tomaron como muestra 10 unidades. En el primero se midió cada espécimen el largo, ancho y alto, con la precisión de 1 mm, cada medida se obtiene como promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara (Fig. N° 29).

En el segundo ensayo se coloca el borde recto de la regla ya sea longitudinalmente o sobre una diagonal de una de las caras mayores del ladrillo. Posteriormente se introduce la cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima y se efectúa la lectura con la precisión de 1 mm y se registra el valor obtenido (Fig. N° 30).

En la siguiente tabla se presentan los resultados promedios y la dispersión de los mismos obtenidos en las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo según las NTP 399.613 y 399.604. Además se observa que los bloques presentan dimensiones que varían ligeramente respecto a las dimensiones nominales (Tabla N° 12), en menos de 0.7%; así mismo, su alabeo es bajo al igual que la dispersión de resultados respectiva.

Tabla 8. Variación de dimensiones y Alabeo

Variación de Dimensiones y Alabeo de Bloques Suelo Cemento					
Variación de Dimensiones (VD)				Alabeo	
	Promedio (mm)	Nominal (mm)	VD (%)	Promedio (mm)	Dispersión
Largo	229.2	230	-0.35%	1	37.0%
Ancho	129.2	130	-0.62%		
Altura	75.1	75	0.13%		

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Figura 30. Medición de las unidades de suelo-cemento





Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Ensayos experimentales.

Figura 31. Ensayo de Alabeo



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. El uso del vernier en el ensayo.

Absorción

Para este ensayo se tomaron como muestra tres unidades, siguiendo el procedimiento establecido por la NTP 399.604 y 399.613.

Se calientan los especímenes en el horno entre 110°C y 115°C y se pesan luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repite el tratamiento hasta que no se tenga variaciones en el peso obteniéndose (Fig. 31).

NOTA.- Para enfriar los especímenes se recomienda colocarlos sin amontonarlos en un espacio abierto con libre circulación de aire manteniéndolos a temperatura ambiente durante 4 horas.

Se introducen los especímenes secos en un recipiente lleno de agua destilada, manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 h, asegurando que la temperatura del baño esté comprendida entre 15°C y 30°C (Fig. 32). Transcurrido el lapso indicado, se retiran los especímenes del baño, secando el agua superficial con un trapo húmedo y se pesan.

Los especímenes deben pesarse dentro de los 5 min a partir del instante en que se extraen del recipiente.

Finalmente, los bloques pasaron la prueba de absorción ya que el porcentaje obtenido de 11.52% es menor al establecido por la norma E.070 (22%). De esta manera, no es necesario proteger a los muros del agua.

En la siguiente tabla mostramos los resultados con el contenido de agua absorbida:

Tabla 9. Absorción de Unidades Suelo Cemento

Absorción de Unidades Suelo Cemento				
Unidad	Espécimen Seco (gr)	Espécimen Saturado (gr)	Contenido de Agua (%)	Promedio (%)
1	4145	4690	11.62%	11.52%
2	3985	4495	11.35%	
3	4160	4705	11.58%	

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Figura 32. Unidades colocadas en horno



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Unidades de albañilería en el horno.

Figura 33. Unidades sumergidas 24 horas



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la UPAO.

Resistencia a la Compresión

Para el desarrollo de este ensayo se coloca el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina (Fig. 33) y se hace descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen.

La resistencia promedio a compresión fue de 74.78 kg/cm² con una dispersión de resultados de 11.61% (Tabla 10). Este valor supera en 36% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales de acuerdo a la Norma E.070 (55 kg/cm²).

Tabla 10. Compresión de Unidades Suelo Cemento

Compresión de Unidades Suelo Cemento						
Und	Peso (kg)	Dimensiones			Carga (kg-f)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)
		Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)		
1	4.86	23	13	7.6	22,885.40	76.54
2	4.93	23	13	7.6	24,663.50	82.49
3	4.97	23	13	7.4	22,843.70	76.40
4	4.59	23	13	7.4	26,156.20	87.48
5	4.49	23	13	7.4	29,937.60	100.13
Promedio (kg/cm2)						84.61

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Tabla 11. Resultados Finales de Compresión de Unidades

Compresión de Unidades Suelo Cemento		
Resistencia a la compresión promedio	84.61	kg/cm2
Desviación estándar	9.82	
Resistencia a la compresión final	74.78	Kg/cm2
Dispersión de resultados	11.61%	

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Figura 34. Unidad de albañilería ubicada en la máquina de rotura



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Unidad de albañilería sometida a ensayo.

Figura 35. Resultado de las unidades comprimidas





Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultado de la unidad de albañilería luego del ensayo a la compresión.

Ensayo de Pilas a Compresión Axial

Luego de que las 10 pilas cumpliesen 28 días de edad, fueron ensayadas a compresión axial de acuerdo a la NTP 399.613 y 399.604.

Previamente, se aplicó un refrendado de yeso, de unos 3 mm de espesor, en las caras en contacto con los cabezales del equipo de ensayo.

Adicionalmente, todas las pilas fueron almacenadas en un lugar techado para protegerlas del sol y la lluvia.

El equipo de ensayo consistió de una máquina de compresión marca ELE International ADR Touch Head con capacidad hasta 2000 KN.

La carga fue aplicada hasta provocar la rotura de las pilas, instante después del cual se produjo la degradación de resistencia. Esta carga máxima fue registrada en la pantalla de la máquina de compresión.

Se ensayaron a compresión axial 10 pilas, de 2 y 3 hileras (Fig.36).

Figura 36. Pilas de albañilería de 2 y 3 hileras



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Se observan las unidades de albañilería preparadas antes del ensayo.

Figura 37. Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Máquina del laboratorio de materiales de la UPAO.

Forma de Falla

Las 10 pilas de 2 y 3 hiladas fallaron a través de una grieta vertical que corta unidades y mortero (Fig.37), producida por tracción debida a la expansión lateral causada por la compresión aplicada; esta falla se produce por la expansión lateral que tiene la pila (efecto de Poisson) al verse sujeta a compresiones axiales, no se produjo fallas por trituración de los bloques ni del mortero.

Figura 38. Ensayo y forma de falla para pilas de 2 hileras



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Fotos del procedimiento.

Figura 39. Ensayo y forma de falla para pilas de 3 hileras



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Fotos del procedimiento.

Resultados y Resistencia Admisible

Los resultados individuales alcanzados por las diez pilas aparecen en la Tabla 12.

La resistencia promedio para la compresión axial sin considerar el factor de corrección por esbeltez de 2 hileras fue 56.85 kg/cm2, con una baja dispersión de resultados de 8.18%, del mismo modo la resistencia promedio en las pilas de 3 hileras fue 55.83 kg/cm2, con una baja dispersión de resultados de 6.65% (Tabla 13).

Tabla 12. Ensayo de compresión axial en pilas

Ensayos a Compresión Axial en Pilas							
Pilas	2 Hileras	P1	P2	P3	P4	P5	Prome- dio
A = 299 cm2	Carga Máxi- ma	15,338.90	16,036.10	17,158.00	18,933.50	17,523.40	16,997.98
	Altura	16.70	17.00	16.80	16.20	16.30	16.60
	Espesor	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
	Esbeltez	1.28	1.31	1.29	1.25	1.25	1.28
	Resistencia (kg/cm2)	51.30	53.63	57.38	63.32	58.61	56.85
Pilas	3 Hileras	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
A = 299 cm2	Carga Máxi- ma	16,734.00	17,541.80	15,760.80	15,423.00	18,005.20	16,692.96
	Altura	26.00	25.80	25.50	26.40	26.00	25.94
	Espesor	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
	Esbeltez	2.00	1.98	1.96	2.03	2.00	2.00
	Resistencia (kg/cm2)	55.97	58.67	52.71	51.58	60.22	55.83

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Debe indicarse que las pilas de dos hileras presentaron una esbeltez promedio de 1.28. Puesto que la misma no se encuentra en el rango comprendido de acuerdo a la Norma E.070 (Esbeltez 2–5), optamos por despreciar dichos datos por reflejar resultados incongruentes.

De este modo se seleccionaron los datos de las pilas de tres hileras (Tabla N° 13), ya que la esbeltez promedio calculada si se encuentra en lo rangos descritos.

Tabla 13. Resumen ensayo de compresión axial en pilas

Resumen de Ensayos a Compresión Axial en Pilas	3 Hileras kg/cm²
Resistencia a la compresión promedio	55.83
Desviación estándar	3.71
Dispersión de resultados	6.65%
Esbeltez promedio	2.00
Factor de corrección	0.73

Fuente: Durand Orellana, 2015elaboración propia

La resistencia de las pilas a compresión axial (f'_m) se determinó por la ecuación:

$$f'_m = aC(X - m\sigma)$$

En la que:

A es un coeficiente que tienes en cuenta la edad del testigo en el momento del ensayo (a es 1 para testigos ensayados a los veintiochos días, y 1.1 cuando el ensayo se hace a los siete días).

C es el factor de corrección de la esbeltez. De acuerdo a la Norma E 0.70 el factor de corrección para una esbeltez de 2.0 vendría a ser 0.73.

X es el promedio de los resultados de las pruebas; m es un número dependiente del porcentaje de resultados defectuosos aceptables (generalmente 10%); en ese caso, m es igual a 1.3, y σ es la desviación estándar de las pruebas.

Empleando los factores de corrección de acuerdo a la Norma E.070, y utilizando la fórmula previamente mencionada se obtuvo la resistencia promedio final admisible ($f'_m = 37.23 \text{ kg/cm}^2$) la cual supera ligeramente en 6.38% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales de acuerdo a la Norma E.070 (35 kg/cm^2).

Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes

Luego que los 2 muretes contruidos cumpliesen 28 días de edad, fueron ensayados a compresión diagonal según el Capítulo 5 del RNE E.070.

Previamente, se aplicó un refrendado de yeso, de unos 3 mm de espesor, en las esquinas del murete para estar en contacto con los ángulos del equipo de ensayo. Adicionalmente, los 2 muretes fueron almacenados en un lugar techado para protegerlas del sol y la lluvia.

Los 2 muretes fueron contruidos con mortero de cemento del tipo P2 según la tabla 4 de la norma E.070 (Relación 1: $\frac{1}{2}$: 4), fueron denominados “M1” y “M2”.

El equipo de ensayo consistió de una máquina de compresión universal, la cual consta de perfiles metálicos, sobre los que se montan una gata hidráulica en la parte central superior (Fig. 40). La carga se aplicó hasta la rotura del murete, luego la carga última fue dividida entre el área bruta de la diagonal cargada, para así obtener la resistencia a compresión diagonal de cada murete ($v'm$). Esta carga máxima fue registrada en el manómetro de la máquina de compresión universal.

Figura 40. Muretes refrendados



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Muretes refrendados para el ensayo.

Figura 41. Máquina de compresión universal



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Máquina para realizar la compresión axial.

Figura 42. Aplicación de carga sobre murete



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Procedimiento del ensayo.

Forma de Falla

Los 2 muretes tuvieron una forma de falla diagonal (Fig.42), presentándose grietas a través de las juntas y que además atravesaron las unidades de albañilería.

La falla que se obtuvo es por tracción diagonal en la cual se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta

Figura 43. Forma de falla de los muretes



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados del ensayo.

Comportamiento

En los 2 muretes M1 y M2 se registró la carga diagonal máxima, En la primera fase el comportamiento fue elástico hasta que se formaron las primeras fisuras, produciéndose una pequeña caída en la resistencia. En la segunda fase la carga se incrementó,

registrándose otras fisuras. En la tercera la carga se estabilizó hasta que se formó una gran grieta, que generó la pérdida total de la resistencia. Es decir, el refuerzo proporcionó ductilidad y resistencia adicional.

Resultados y Resistencia Admisible

La resistencia unitaria a corte ($v'm$), fue obtenida dividiendo la carga diagonal (P) entre el área bruta de la diagonal cargada. En la Tabla 14 aparecen los resultados obtenidos para los 2 muretes. Mientras que en la Tabla 15 se muestran los resultados finales.

Tabla 14. Compresión diagonal en murete suelo cemento

Compresión Diagonal en Murete Suelo Cemento						
Murete	P max (kg)	t(cm)	L (cm)	A (cm2)	V'm (kg/cm2)	Tipo de Falla
M1	6,917.00	13.00	101.12	1,314.56	5.26	Diagonal
M2	6,633.00	13.00	101.12	1,314.56	5.05	Diagonal
Promedio (Kg/cm2)					5.15	

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

En la Tabla 14 se presentan los valores de la carga máxima aplicada (Pmax), el espesor del murete (t), la longitud de la diagonal (Lc), el área del espécimen sobre la diagonal (A), la resistencia a compresión diagonal de los especímenes (Vm), junto con la desviación estándar y la dispersión; en la séptima columna se presenta el tipo de falla observado para cada mortero. La nomenclatura empleada

para identificar al mortero es M1 y M2 para indicar el número de espécimen.

Tabla 15. Resumen Compresión diagonal en murete suelo cemento

Compresión Diagonal en Muretes Suelo Cemento (v'm)	
Resistencia a la compresión promedio	5.15 kg/cm2
Desviación estándar	0.15
Resistencia a la compresión final	5.00 Kg/cm2
Dispersión de resultados	2.96%

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

La resistencia a la compresión final 5.00 kg/cm2 se encuentra relativamente cerca de la resistencia mínima de la compresión diagonal para ladrillos de arcilla King Kong de acuerdo a la norma E 0.70 (5.01 kg/cm2).

Capítulo VII

Caracterización del suelo extraído: conclusión

Con el objetivo de analizar las características del suelo extraído se realizaron los siguientes ensayos:

a) Ensayo de granulometría por tamizado (húmedo y seco) (NTP 339.128)

Analizando 5000 gr. de suelo correspondiente a una muestra de nuestra materia prima, se trabajó con 300 gr. de la misma, a partir de la cual se obtuvo su composición representada por:

- 0% Grava (Suma de % pesos retenidos desde tamiz N° 2½ a N° 4)
- 69.17% Arena (Suma de % pesos retenidos desde tamiz N°8 a N° 200)
- 30.83% Finos (% de pérdida de lavado).

El análisis de composición granulométrica revela una mayor tendencia a la composición de suelos arenosos.

Tabla 16. Composición de la muestra

Comp. de la Muestra	
% Grava:	0.00%
% Arena:	69.17%
% Finos:	30.83%

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados de la granulometría.

b) Contenido de humedad (NTP 339.127)

Se analizaron 4 muestras, obtenidas por el ensayo de cuarteo utilizando aproximadamente 151 gr de suelo extraído de la Cantera La Flaca.

Tabla 17. Contenido de Humedad

Contenido de Humedad				
Muestra	1	2	3	4
% de Humedad	3.75%	3.25%	3.88%	3.51%
Promedio	3.60 %			

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados de los especímenes.

c) Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (NTP 339.129).

Siguiendo las instrucciones descritas en la norma técnica peruana, fue posible obtener el límite líquido de 30.30, correspondiente a un porcentaje determinado de humedad para un N° de golpes igual a 25. A si mismo con un valor de 18.20% el límite plástico es reportado como el promedio de los porcentajes de humedad hallados.

Finalmente el índice de plasticidad es el valor correspondiente a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, obteniéndose en un valor de 12.20%.

Tabla 18. Límite líquido y plástico

Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
30.30	18.20	12.20

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

d) Gravedad específica (NTP 339.131)

Se analizaron 3 muestras de arcilla acorde a la norma específica, las cuales tuvieron un peso inicial de 150 gr. Luego de registrarse cada uno de los pesos requeridos, se obtuvo una gravedad específica promedio de 2.514

Tabla 19. Gravedad específica

Gravedad Específica (Gs)
2.51

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Ensayos Físicos y Mecánicos

a) Ensayo de Unidades de Albañilería

• **Variación de Dimensiones y Alabeo (NTP 399.613)**

Se observa que las unidades presentan dimensiones que varían ligeramente respecto a las dimensiones nominales (Tabla N° 20), en menos de 0.7%. Así mismo, su alabeo es bajo, al igual que la dispersión de resultados respectiva

Tabla 20. Variación de dimensiones y alabeo de unidades

Variación de Dimensiones y Alabeo de Unidades Suelo Cemento					
Variación de Dimensiones (VD)				Alabeo	
	Promedio (mm)	Nominal (mm)	VD (%)	Promedio (mm)	Dispersión
Largo	229.2	230	-0.35%	1	37.0%
Ancho	129.2	130	-0.62%		
Altura	75.1	75	0.13%		

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

• **Absorción (NTP 399.613).**

El porcentaje obtenido fue 11.52% menor al establecido por la norma E.070 (22%).

En la siguiente tabla mostramos los resultados individuales del contenido de agua absorbida:

Tabla 21. Absorción de unidades

Absorción de Unidades Suelo Cemento				
Unidad	Espécimen Seco (gr)	Espécimen Saturado (gr)	Contenido de Agua (%)	Promedio (%)
1	4145	4690	11.62%	11.52%
2	3985	4495	11.35%	
3	4160	4705	11.58%	

Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

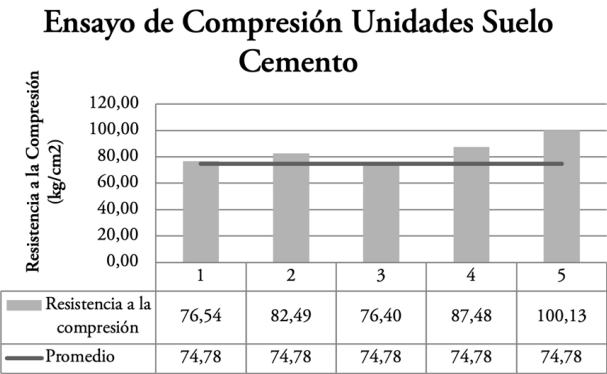
- **Resistencia de Compresión (NTP 399.613).**

En la figura 44 se muestra la resistencia a la compresión obtenida por cada una de las unidades utilizadas en el ensayo.

Se observa que la diferencia obtenida entre la menor y más alta resistencia fue de 23.59 kg/cm2.

La resistencia promedio final a compresión fue de 74.78 kg/cm2 con una dispersión de resultados de 11.61% (Tabla 13).

Figura 44. Gráfico de ensayo de compresión de unidades



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

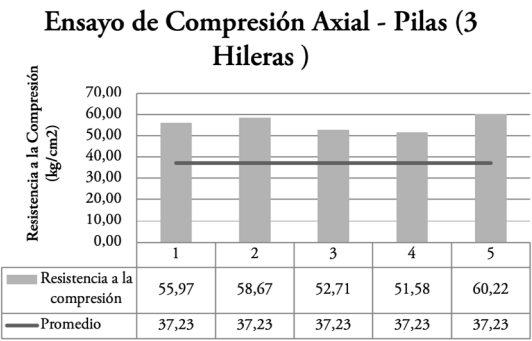
b) Ensayo de Pilas a Compresión Axial

En la figura 44 se muestra la resistencia a la compresión axial obtenida por cada una de las unidades utilizadas en el ensayo para pilas de 3 hileras.

En la compresión axial de 3 hileras se observa que la diferencia obtenida entre la menor y más alta resistencia fue 7.51 kg/cm2.

La resistencia promedio final a compresión axial fue de 37.23 kg/cm2 (La dispersión promedio de resultados de 7.41%), este dato es menor que las resistencias individuales de la pilas, ya que se encuentra rectificado por el factor de corrección que indica el RNE E0.70 (0.73 para una esbeltez de 2.0).

Figura 45. Gráfico de ensayo de compresión axial–pilas



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

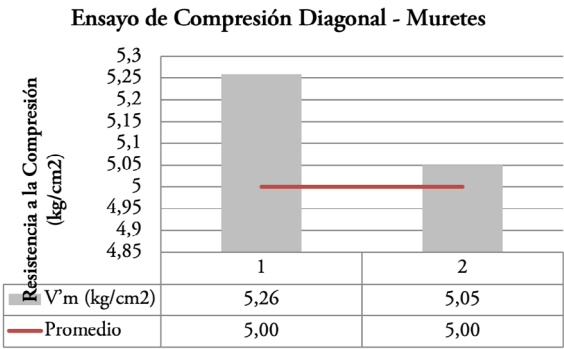
c) Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes

En la figura 45 se muestra la resistencia a la compresión diagonal obtenida por cada una de los muretes utilizados en el ensayo.

Se observa que la diferencia obtenida entre la menor y más alta resistencia fue de 0.21 kg/cm2.

La resistencia promedio final a compresión fue de 5.0 kg/cm2 con una dispersión de resultados de 2.96%.

Figura 46. Gráfico de ensayo de compresión diagonal–muretes



Fuente: Durand Orellana (2015).

Nota. Resultados obtenidos.

Discusión

Antes de iniciar la discusión, es importante remarcar que los niveles de fiabilidad de los resultados han sido altos, ya que se llevó el mayor control posible durante el desarrollo de cada etapa de esta investigación. Estos datos dan garantía para su uso en el presente estudio.

Es necesario conocer que el primer problema que se presentó fue la ubicación de canteras con las características del suelo que pretendíamos utilizar. Teniendo en cuenta que no se puede hacer uso de suelo agrícola por el motivo que se genera pérdida de área de sembrío, siendo este uno de los principales problemas en la creación de ladrillos de arcilla quemados. Como buscamos una solución sostenible y ecológica para este mal, se optó por buscar el suelo

en canteras formales, llegando a ubicar la cantera “La flaca” en el Distrito de la Esperanza – Provincia de Trujillo.

Según lo hallado en la presente investigación, se ha demostrado que las características del suelo influyen en los resultados de la investigación. Durante el desarrollo de esta investigación como primer punto tuvimos que determinar las características del suelo que extrajimos de la cantera “La Flaca”. En un principio identificamos la composición granulométrica del mismo, ya que era requisito necesario para el futuro diseño de mezcla, obteniendo un valor de 69% de arena, el cual se encontraba por debajo de nuestro porcentaje proyectado, debido a ello añadimos un 6% del mismo material para cumplir con nuestro diseño de mezcla planeado. Las otras características halladas nos sirvieron como base en el desarrollo de las unidades de albañilería, como es el caso del porcentaje de humedad que fue utilizado para saber en qué medida teníamos que añadir agua en la elaboración del ladrillo.

Para la elaboración del diseño de mezcla (cemento, suelo, arena y agua 1 : 5: 0.5 : 1) se tuvo como base la cantidad de cemento a utilizar (20% del peso del suelo), ya que es el factor más importante que nos brinda la resistencia de las unidades. Identificando este elemento como un factor clave, podemos entender como relación directa al cemento y la resistencia, de manera que el porcentaje del mismo podría variar y generar nuevos resultados. Esto ocurre en la investigación desarrollada por el Departamento de Informática 2013 – SENCICO, el cual solo utilizó 10% de cemento en su diseño de mezclas obteniendo resultados aceptables y recomendados. En nuestro caso decidimos utilizar el 20 % de cemento con el fin de

obtener grados más confiables y aumentar el grado de resistencia.

Durante la elaboración de las unidades de albañilería se tuvo como principal problema los defectos en la soldadura en el brazo de palanca de la máquina CINVA RAM. Esto originó retraso y pérdida de capital debido al traslado de la misma al taller para su reparación. Este problema se presentó en dos oportunidades generando un gran malestar y retraso.

Durante la etapa de roturas de unidades, pilas y muretes la principal dificultad que encontramos estuvo en no poder romper pilas mayores a 3 hileras. Esto debido a que la máquina de compresión ELE International ADR Touch Head no tenía la capacidad de albergar pilas mayores a 30 cm. Tenemos que resaltar que el uso de esta máquina es de gran confiabilidad puesto que es última en su generación y ha sido calibrada recientemente, arrojando datos exactos y confiable. Como alternativa se pudo realizar estos ensayos en la máquina de compresión universal, pero en cuestión de rotura de pilas creímos conveniente mantenerla al margen y solo utilizarla en la rotura de muretes por no generar datos tan exactos como la máquina Touch Head.

En relación con los resultados obtenidos en los ensayos de la unidad de suelo-cemento, podemos decir que los resultados alcanzados son satisfactorios por el motivo de que nuestras

características alcanzadas superan y satisfacen los requisitos establecidos por el RNE E0.70. Según estas precisiones para que una unidad sea aceptada la dispersión de sus resultados no debe superar el 40% (unidades producidas artesanalmente), requisito que cumplimos en todos nuestros ensayos. Además nos exige que el porcentaje de absorción sea menor al 22%, exigencia que también cumplimos puesto que tenemos un porcentaje de 11.52%. Finalizando la resistencia promedio a compresión fue de 74.78 kg/cm², este valor supera en 36% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (55 kg/cm²).

Con respecto al análisis de los resultados en los ensayos de pilas, debe indicarse que las construidas de dos hileras presentaron una esbeltez promedio de 1.28. Puesto que la misma no se encuentra en el rango comprendido de acuerdo a la Norma E.070 (Esbeltez 2–5), optamos por despreciar dichos datos por reflejar resultados incongruentes. En la compresión axial de 3 hileras se obtuvo la resistencia promedio final a de 37.23 kg/cm², la cual supera ligeramente en 6.38% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (35 kg/cm²).

Finalizando los muretes sufrieron fallas por tracción diagonal, obteniendo una resistencia a corte puro de 5.0 kg/cm², ligeramente inferior a lo establecido por la Norma E.070 (5.01kg/cm²). Ya que son valores muy parecidos decidimos dar por aceptado dicho resultado puesto que su diferencia es mínima.

Conclusiones

Se pudo confirmar que el suelo presento buenas características para ser utilizado como material en la elaboración de la unidad de la albañilería.

No hubo problemas en la fabricación de las unidades de albañilería, no registraron fisuras por contracción de secado y el rendimiento observado fue 1 unidad cada cuatro minutos.

Empleando un diseño de mezcla: cemento, suelo, arena y agua 1 : 5: 0.5 : 1. Se lograron unidades a una resistencia a compresión 74.78 kg/cm², mayor en 36% a la resistencia mínima exigida por la norma E0.70 (55 kg/cm²) para ladrillos de arcilla King Kong artesanal.

El peso de cada unidad fue aproximadamente 4.80 kg, siendo la variación de sus dimensiones y alabeo mínimos. Así mismo las unidades aprobaron la prueba de absorción en consecuencia no es necesaria protegerlas del agua.

La resistencia a compresión axial de las pilas, corregida por esbeltez fue $f'_m = 55.83 \text{ kg/cm}^2$, la misma que supera en 6.38% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (35 kg/cm²).

La resistencia máxima promedio a corte puro de los muretes hechos con suelo cemento fue 5.0 kg/cm². La cual se encuentra relativamente cerca de la resistencia mínima de la compresión diagonal para ladrillos de arcilla King Kong de acuerdo a la norma E 0.70 (5.01 kg/cm²).

Recomendaciones

Es muy importante conocer las características, puesto que son parte clave para el diseño de mezclas, y la más leve variación de porcentaje no puede llevar a la obtención de resultados distintos.

Es importante que la extracción del suelo, se haga en lugares autorizados como canteras formales. Por el motivo de evitar la erosión del suelo agrícola.

No deben ser utilizados suelos que contengan materia orgánica, pues esta puede comprometer las propiedades del material estabilizante a ser usado en la preparación de las unidades de albañilería.

Luego que el ladrillo es prensado, dejar reposar el mismo un lapso de tiempo antes de ser removido, evitando alterar su geometría y por consiguiente sus propiedades.

Variar el diseño de mezcla, de tal manera de conocer en qué medida se modificara las cantidades de los componentes. obteniendo mejores o peores resultados.

En el proceso de construcción de la maquina CINVA RAM, verificar que sea realizada por personal calificado y con la más alta calidad en los materiales, con el fin de evitar futuros problemas ya que será sometida a grandes presiones durante su uso.

Realizar una investigación utilizando pilas mayores a 3 hileras, de esta forma obtener mayor número de datos y poder verificar nuestra resistencia calculada.

Los ensayos deben realizarse en laboratorios equipados con instrumentos y maquinas adecuados y calibrados. De esta manera obtener datos más confiables y verídicos.

Efectuar un análisis de costos, analizando en qué medida los ladrillos suelo-cemento son más económicos que los ladrillos artesanales.

Se recomienda como línea de investigación realizar ensayos en muros con cargas laterales sísmicas y realizar ensayos sísmicos de módulos.

Referencias

- Bowles, J. E. (1980). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. McGraw Hill.
- Cardenas, E., y Deza, M. (2006). *Influencia de la dosificación de tierra de diatomea y de la temperatura de cocción sobre el módulo de rotura, resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, en ladrillos ecológicos de construcción* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Durand Orellana, R. (2015). *Estudio experimental de unidades de albañilería fabricadas con suelo-cemento como alternativa para la construcción sostenible* [Tesis doctorado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Flin, T. (1991). *Materiales para Ingeniería y sus Aplicaciones*. McGraw Hill
- Gallegos Casabonne, H .C. (2005). Unidad de la albañilería y Propiedades de albañilería simple. En P. U. Católica (ed.). *Albañilería estructural* (pp. 75 -165, 199 – 259). Pontifica Universidad Católica.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. (2006). Reglamento Nacional de Construcciones. Norma E.070 “Albañilería”.
- Smith, W. (1998). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. McGraw Hill
- Tomansini, G., y Olivero, F. (2006). Diseño racional de Ladrillos de Suelo-Cemento y Análisis para su utilización en viviendas económicas de interés social. http://www.frra.utn.edu.ar/secretarias/cyt/cientifico_tecnico/ladrillos.pdf
- Vara Horna, A. (2008). *Cómo hacer una tesis en ciencias empresariales*. USMP.
- Viviendas Económicas. (1999). *La opción del suelo-cemento*. XI Seminario de Viviendas y Urbanismo. Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.



Religación **Press**

Ideas desde el Sur Global



Religación
Press