

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UNIDADES DE  
ALBAÑILERÍA ECOLÓGICAS FABRICADAS CON SUELO-CEMENTO  
EN LA CIUDAD DE TRUJILLO**

---

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

---

**AUTORES:**

**Bach. Abanto Flores, Peter Jheryes**

**Bach. Akarley Poma, Luis Martin**

**ASESOR:**

**MG. Durand Orellana Rocío Del Pilar**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2014**

**JURADO CALIFICADOR**

---

**ING. RICARDO ANDRES, NARVAEZ ARANDA**

**PRESIDENTE**

---

**ING. ROLANDO, OCHOA ZEVALLOS**

**SECRETARIO**

---

**ING. FIDEL GERMAN, SAGASTEGUI VASQUEZ**

**VOCAL**

---

**ING. ROCIO DURAND ORELLANA**

**ASESOR**

## PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: **“Características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricadas con suelo-cemento en la ciudad de Trujillo”**.

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra universidad.

Los Autores.

---

**Bach. Abanto Flores Peter J.**

---

**Bach. Akarley Poma Luis M.**

## **DEDICATORIA**

A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. A mi padre Pedro, mi madre Otilia y mis tíos Víctor y Delia por haberme educado y haber tolerado mis errores. Gracias a sus consejos, por el amor que siempre me han brindado, la paciencia y el apoyo que me brindaron en mi vida hasta culminar la carrera profesional.

A mis primos hermanos que contribuyeron con su apoyo y su paciencia a que yo pueda lograr todas mis metas y a mis amigos que con su apoyo y compañerismo me incentivaron a salir adelante.

Bach. Abanto Flores Peter Jheryes

A mis padres y a mis hermanas, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aún cuando todo se complicaba.

Bach. Akarley Poma Luis Martin

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi cordial agradecimiento a nuestra alma mater la “Universidad Privada Antenor Orrego- Trujillo”, en especial a la Facultad de Ingeniería y a toda la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ya que ellos con sus enseñanzas y sus sabios consejos nos guiaron a no dejarnos vencer y a ser más fuertes ya que al salir de la universidad la vida va a ser distinta.

Agradezco inmensamente a mi tío Néstor por su amistad, apoyo y consejos en esta etapa de mi vida y a todas las personas que están a mi lado.

Bach. Abanto Flores Peter Jheryes

Son muchas las personas especiales las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida.

Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estas líneas quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Bach. Akarley Poma Luis Martin

## RESUMEN Y ABSTRACT

Uno de los muchos problemas actuales de la contaminación ambiental es la fabricación del ladrillo artesanal, iniciando por la extracción del suelo agrícola hasta llegar a su cocción, representando un problema ecológico fundamental.

En la presente investigación se determinó las características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas, en la ciudad de Trujillo. Los objetivos fueron determinar las características del suelo, realizar el diseño de mezclas, elaborar el prototipo y realizar las pruebas experimentales respectivas que indiquen las características de la unidad suelo-cemento. Se realizaron los ensayos requeridos en el laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego, determinando datos válidos y confiables. Como resultado se llegó a superar todas las características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal (King Kong).

One of the many current problems of environmental pollution is the manufacture of handmade bricks, starting with the extraction of agricultural ground to cooking, representing a major ecological problem.

In this research the physical and mechanical properties of masonry units ecological characteristics are determined, in the city of Trujillo. The objectives were to determine soil characteristics, making the mix design, develop the prototype and perform the respective experimental evidence indicating the characteristics of the soil- cement unit. The required tests in the laboratory of the Universidad Privada Antenor Orrego, determining valid data and reliable. As a result surpassed all physical and mechanical characteristics of handmade bricks (King Kong) were performed.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN Y ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Realidad Problemática .....	14
1.2 Descripción del Proyecto.....	17
1.3 Objetivos del Proyecto .....	19
<b>CAPITULO II: MARCO TEÒRICO .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1 Características Geométricas de la Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada .....	20
2.2 Componentes de Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada	22
2.3 Definición de la Mezcla .....	25
2.4 Mortero.....	26
<b>CAPITULO III: PROCESO DE ELABORACION DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA .....</b>	<b>29</b>
3.1 Mezcla Suelo-Arena-Agua-Cemento.....	29
3.2 La Máquina Prensadora CINVA RAM – MODIFICADA (Compactadora) .....	44
3.3 Elaboración de la Unidad De Albañilería.....	46
<b>CAPITULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES .....</b>	<b>51</b>
4.1 Características de las Pilas .....	51
4.2 Características de los Muretes.....	53
<b>CAPITULO V: CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES .....</b>	<b>55</b>
5.1 Lineamientos Generales .....	55
5.2 Pilas .....	58

5.3 Muretes .....	60
<b>CAPITULO VI: ENSAYOS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA</b>	
<b>PRENSADA .....</b>	<b>61</b>
6.1 Ensayo de Unidades de Albañilería .....	61
6.1.1 Variación de Dimensiones y Alabeo .....	61
6.1.2 Absorción.....	63
6.1.3 Resistencia a la Compresión .....	65
6.2 Ensayo de Pilas a Compresión Axial.....	67
6.2.1 Forma de Falla.....	69
6.2.2 Resultados y Resistencia Admisible .....	70
6.3 Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes .....	73
6.3.1 Forma de Falla.....	75
6.3.2 Comportamiento .....	77
6.3.3 Resultados y Resistencia Admisible .....	77
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>94</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pg.
<b>Cuadro N° 1:</b> Distribución de ladrilleras en el Departamento de La Libertad, según Dirección Regional de Producción La Libertad – Sub Dirección de Industrias, Año 2012	14
<b>Tabla N° 2:</b> Porcentajes seleccionados de arcilla, limo y arena para la investigación	25
<b>Tabla N° 3:</b> Diseño de Mezclas	26
<b>Tabla N° 4:</b> Tipos de Morteros	28
<b>Tabla N° 5:</b> Cantidad en Kg para la elaboración de cuatro unidades de albañilería	37
<b>Tabla N° 6:</b> Procedimiento Experimental	50
<b>Tabla N° 7:</b> Incremento de $f_m$ y $v_m$ por edad	53
<b>Tabla N° 8:</b> Variación de dimensiones y Alabeo	62
<b>Tabla N° 9:</b> Absorción de Unidades Suelo Cemento	64
<b>Tabla N° 10:</b> Compresión de Unidades Suelo Cemento	66
<b>Tabla N° 11:</b> Resultados Finales de Compresión de Unidades	66
<b>Tabla N° 12:</b> Ensayo de compresión axial en pilas	71
<b>Tabla N° 13:</b> Resumen ensayo de compresión axial en pilas	72
<b>Tabla N° 14:</b> Compresión diagonal en murete suelo cemento	77
<b>Tabla N° 15:</b> Resumen Compresión diagonal en murete suelo cemento	78
<b>Tabla N° 16:</b> Composición de la muestra	79
<b>Tabla N° 17:</b> Contenido de Humedad	80
<b>Tabla N° 18:</b> Límite líquido y plástico	80

<b>Tabla N° 19:</b> Gravedad específica	<b>81</b>
<b>Tabla N° 20:</b> Variación de dimensiones y alabeo de unidades	<b>81</b>
<b>Tabla N° 21:</b> Absorción de unidades	<b>82</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura N° 1:</b> CINVA RAM MODIFICADA	18
<b>Figura N° 2:</b> Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)	21
<b>Figura N° 3:</b> Dimensiones de Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)	21
<b>Figura N° 4:</b> Procedimiento para la elaboración de unidades de suelo-cemento	29
<b>Figura N° 5:</b> Método de la botella	31
<b>Figura N° 6:</b> Método de la Botella (Ensayo realizado en el Lab. De Suelos – UPAO)	32
<b>Figura N° 7:</b> Tamizado del suelo	35
<b>Figura N° 8:</b> Suelo tamizado y mezclado con la arena	37
<b>Figura N° 9:</b> Mezcla del suelo y el cemento	38
<b>Figura N° 10:</b> Prueba de humedad óptima	40
<b>Figura N° 11:</b> Adición del agua a la mezcla	41
<b>Figura N° 12:</b> Mezcla depositada en la CINVA-RAM	47
<b>Figura N° 13:</b> Compactación del material	47
<b>Figura N° 14:</b> Extracción de la unidad compactada	48
<b>Figura N° 15:</b> Curado y acopio de las unidades	49
<b>Figura N° 16:</b> Pilas de albañilería sujeta compresión axial	52
<b>Figura N° 17:</b> Características de las Pilas. Medidas en centímetros.	52
<b>Figura N° 18:</b> Características de los Muretes. Medidas en centímetro	54

<b>Figura N° 19:</b> Elaboración del mortero 1:1/2:4 (Cemento, Cal y Arena)	<b>55</b>
<b>Figura N° 20:</b> Humedeciendo las unidades de Suelo-Cemento	<b>56</b>
<b>Figura N° 21:</b> Verificando el grosor de la junta horizontal	<b>56</b>
<b>Figura N° 22:</b> Asentando la media unidad de albañilería en la parte extrema del murete	<b>57</b>
<b>Figura N° 23:</b> Asentando las unidades de albañilería antes de su nivelación	<b>57</b>
<b>Figura N° 24:</b> Rellenando las juntas verticales	<b>58</b>
<b>Figura N° 25:</b> Construcción de Pilas	<b>59</b>
<b>Figura N° 26:</b> Pilas construidas de tres hiladas	<b>59</b>
<b>Figura N° 27:</b> Construcción de Muretes	<b>60</b>
<b>Figura N° 28:</b> Muretes construidos de 72x72cm	<b>60</b>
<b>Figura N° 29:</b> Medición de las unidades de suelo-cemento	<b>62</b>
<b>Figura N° 30:</b> Ensayo de Alabeo	<b>63</b>
<b>Figura N° 31:</b> Unidades colocadas en horno	<b>64</b>
<b>Figura N° 32:</b> Unidades sumergidas 24 horas	<b>65</b>
<b>Figura N° 33:</b> Unidad de albañilería ubicada en la máquina de rotura	<b>66</b>
<b>Figura N° 34:</b> Resultado de las unidades comprimidas	<b>67</b>
<b>Figura N° 35:</b> Pilas de albañilería de 2 y 3 hileras	<b>68</b>
<b>Figura N° 36:</b> Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head	<b>68</b>
<b>Figura N° 37:</b> Ensayo y forma de falla para pilas de 2 hileras	<b>69</b>
<b>Figura N° 38:</b> Ensayo y forma de falla para pilas de 3 hileras	<b>70</b>

<b>Figura N° 39:</b> Muretes refrendados	<b>74</b>
<b>Figura N° 40:</b> Máquina de compresión universal	<b>74</b>
<b>Figura N° 41:</b> Aplicación de carga sobre murete	<b>75</b>
<b>Figura N° 42:</b> Forma de falla de los muretes	<b>76</b>
<b>Figura N° 43:</b> Gráfico de ensayo de compresión de unidades	<b>83</b>
<b>Figura N° 44:</b> Gráfico de ensayo de compresión axial – pilas	<b>84</b>
<b>Figura N° 45:</b> Gráfico de ensayo de compresión diagonal – muretes	<b>85</b>

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Realidad Problemática

Uno de los muchos problemas actuales de la contaminación ambiental es la fabricación del ladrillo artesanal iniciando por la extracción del suelo agrícola hasta llegar a su cocción, representando 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.

Solo en el departamento de La Libertad provincia de Trujillo se encuentran 27 ladrilleras que son:

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	Nº DE EMPRESAS
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
La libertad	Trujillo	Florencia	1
Total			27

***Cuadro Nº 1: Distribución de ladrilleras en el Departamento de La Libertad, según Dirección Regional de Producción La Libertad – Sub Dirección de Industrias, Año 2012***

Todas las ladrilleras artesanales 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, cáscara de café, aserrín 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, según Programa Regional de Aire Limpio y el Ministerio de la Producción. (2012). Estudio Diagnóstico Sobre Las Ladrilleras Artesanales en el Perú. PRAL Programa Regional Aire Limpio, 19 pg.

Dependiendo del material que tengan a disposición lo cual acarrea no solo una gran deforestación, sino una creciente emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo ampliamente a la contaminación, Además de ello, la extracción de la arcilla muchas veces se realiza en manantiales naturales, perjudicando considerablemente al ecosistema.

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 CO<sub>2</sub> 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.



## 1.2 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.

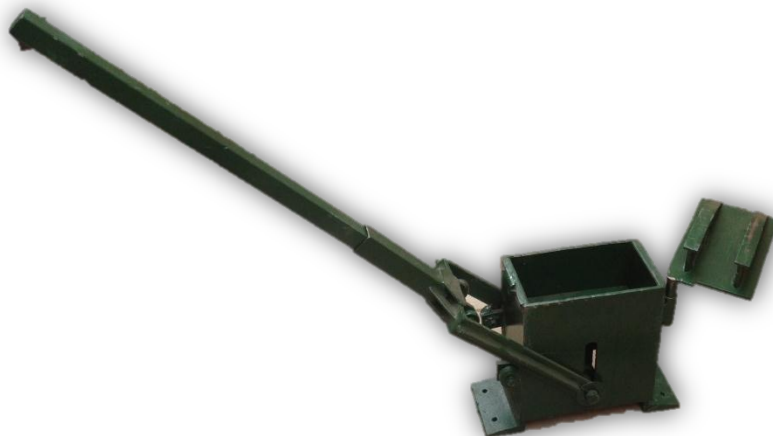
Para ello analizaremos mediante una muestra representativa el suelo de la cantera “La Flaca” propiedad de la empresa MEPCO, distrito el Milagro, que adicionándoles un porcentaje de cemento y agua, será procesado cuidadosamente en cuanto al mezclado, compactado y curado.

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 combinación de nuestros componentes se utilizó lo siguiente: Cemento – Suelo – Arena – Agua      1 : 5 : 0.5 : 1.

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



**Figura N° 1: CINVA RAM MODIFICADA**

Nuestras unidades de albañilería tienen las mismas dimensiones de un ladrillo cocido común (King Kong 9x13x24), siendo 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 dejaran secar 28 días a una temperatura ambiente normal bajo sombra, ya cumpliendo dicho plazo se harán las pruebas de acuerdo a la norma E-070 donde obtendremos resultados finales de la investigación como las características física – mecánicas de esta unidad de albañilería suelo-cemento.

### **1.3 Objetivos del Proyecto**

#### **General:**

Determinar las características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricadas con suelo-cemento en la ciudad de Trujillo.

#### **Específicos:**

- Determinar las características del suelo para la elaboración del ladrillo suelo-cemento.
- Realizar el diseño de mezclas para la elaboración de unidades de albañilería de suelo-cemento.
- Elaborar el prototipo de ladrillos suelo-cemento.
- Realizar las pruebas experimentales respectivas que indiquen las características de la unidad suelo-cemento.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Características Geométricas de la Unidad de Albañilería Suelo-Cemento Prensada**

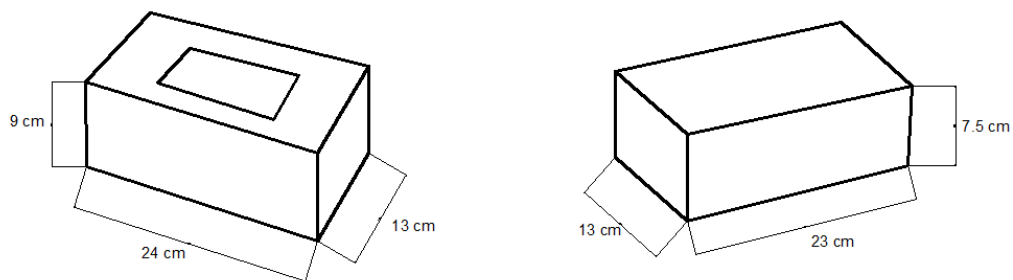
El sistema de la Unidad de Albañilería Prensada Suelo-Cemento se ideó de tal manera que sea usada como una alternativa ecológica del ladrillo artesanal (King Kong), elaborada con una máquina CINVA RAM, construida y modificada con la finalidad de tener las dimensiones comerciales de nuestro mercado, de 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), pero hemos 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 N° 2: Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)**



**Figura N° 3: Dimensiones de Ladrillo KK Artesanal (Izquierda) y Ladrillo Suelo – Cemento (Derecha)**

## 2.2 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, donde 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 existen pruebas de campo, de sencilla realización, que indicarán cuál es la más indicada para la realización de suelo-cemento.

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.

Tendrán prioridad los suelos arenosos, en función de que producen mejores resultados de compactación y resistencia al ser estabilizados con cemento. 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 las maquinarias empleadas, 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. El agregado 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.

### 2.3 Definición de la 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%).

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

**Tabla Nº 2: Porcentajes seleccionados de arcilla, limo y arena para la investigación**

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 nuestros requisitos establecido para nuestra investigación.

El cemento es el factor principal que influye en la resistencia de las unidades, debido a ello hemos creído conveniente optar por 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, para ellos hemos optado por verificar dicha cantidad a través de una prueba de campo.

La proporción volumétrica para nuestra investigación es la siguiente:

<b>Componentes</b>	<b>Diseño de Mezcla</b>
Cemento – Suelo – Arena – Agua	1 : 5 : 0.5 : 1

**Tabla Nº 3: Diseño de Mezclas**

## **2.4 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.

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

**Tabla Nº 4: Tipos de Morteros**

- 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.
- De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 4.

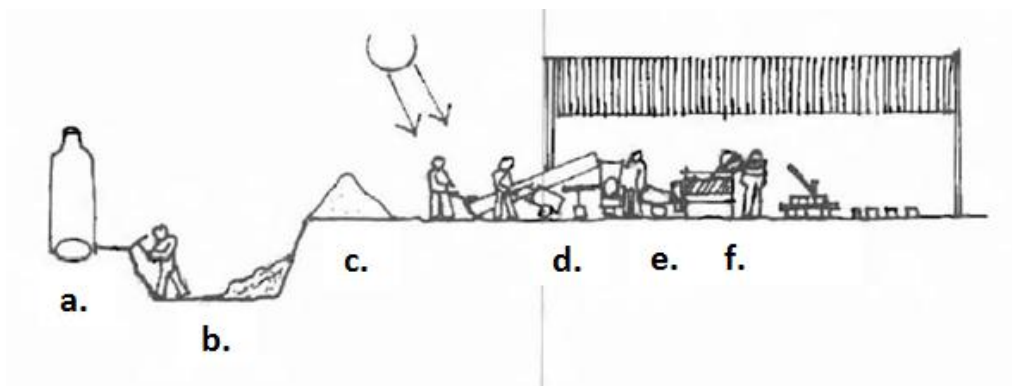
## CAPITULO III

### PROCESO DE ELABORACION DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA

#### 3.1 Mezcla Suelo-Arena-Agua-Cemento

En función a nuestra 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 Nº 4: Procedimiento para la elaboración de unidades de suelo-cemento**

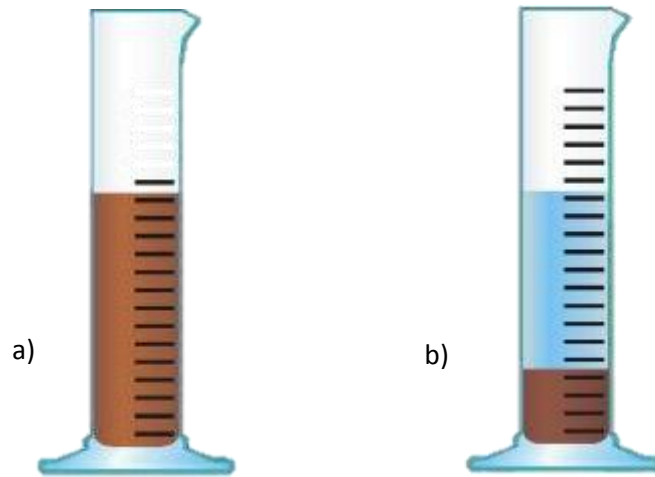
#### **a. Selección del suelo**

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' (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 variará en función de la cantidad de contenido fino de la mezcla. Cuanto más pequeñas y livianas sean las partículas en suspensión, más tardarán en precipitar (b).



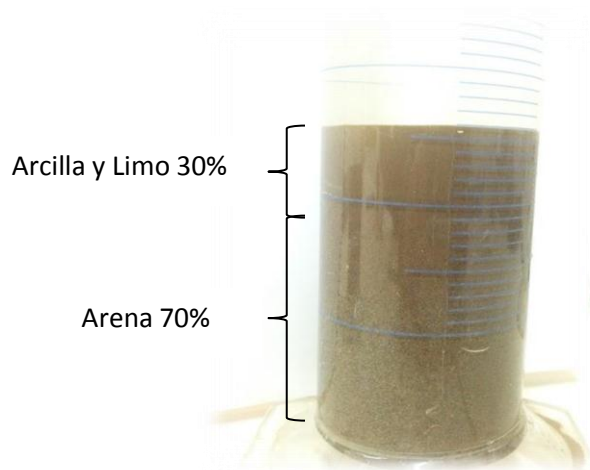
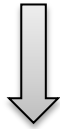
**Figura N° 5: Método de la botella**

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 Nº 6: Método de la Botella (Ensayo realizado en el Lab. De Suelos – UPAO)**

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 promoverá el correcto uso y mantenimiento de los equipos mecánicos empleados. Para el tamizado de nuestro suelo hemos utilizado una malla simple sobre un recipiente, y de forma manual procedimos zarandear 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 N° 7: Tamizado del suelo**

- **Máquina tamizadora y trituradora de terrones**

Básicamente consiste en una tolva dentro de la cual se vuelca la tierra, donde martillos locos 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 4 unidades de albañilería.

<b>Material</b>	<b>Cantidad (Kg)</b>
Cemento	2.60
Suelo	13.00
Arena	1.30

**Tabla N° 5: Cantidad en Kg para la elaboración de cuatro unidades de albañilería**

Inicialmente se procede a 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 N° 8: Suelo tamizado y mezclado con la arena**



***Figura Nº 9: Mezcla del suelo y el 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.

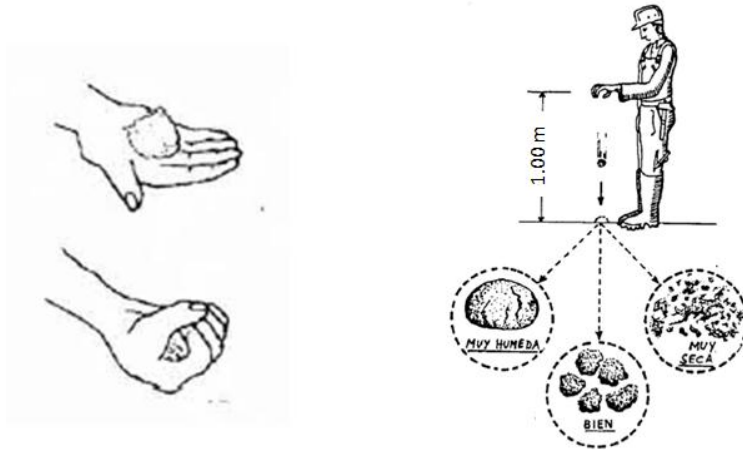
#### **f. Adición de agua**

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 N° 10: Prueba de humedad óptima**

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 N° 11: Adición del agua a la mezcla*

### ➤ **Ensayos Preliminares al Suelo Extraído**

A través de estos ensayos hemos 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 la 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 norma

- 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.

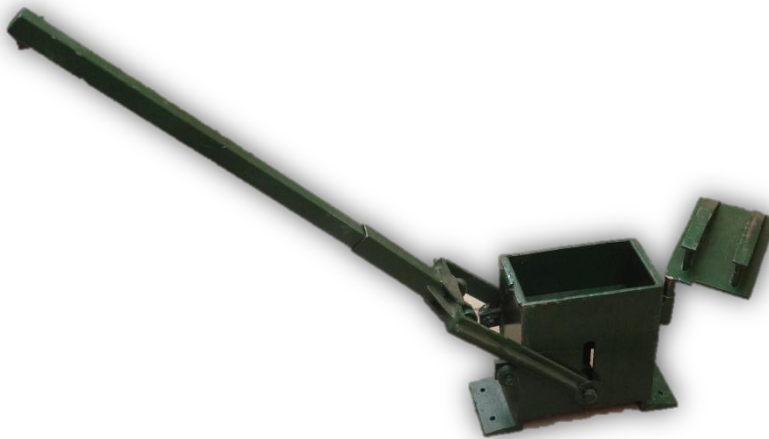
### **3.2 La Máquina Prensadora CINVA RAM – MODIFICADA (Compactadora)**

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 N° 1: CINVA RAM – Modificada**

### 3.3 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 N° 12: Mezcla depositada en la CINVA-RAM**

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 N°13: Compactación del material**

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 Nº 14: Extracción de la unidad compactada**

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.

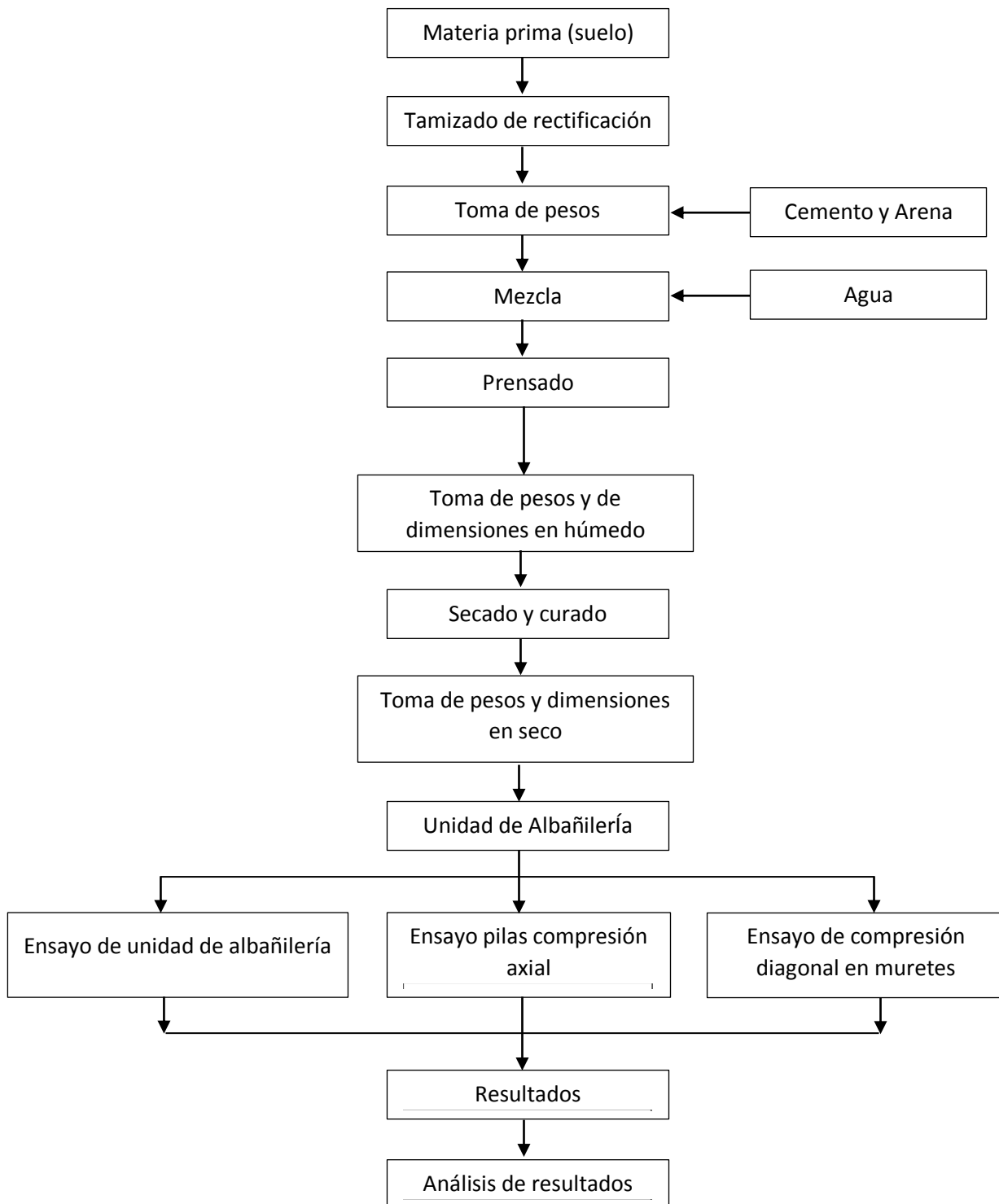
Posteriormente se trasladan los ladrillos a la pila donde se almacenarán, recomendándose humedecer éstos con una regadera. Es conveniente mantener el riego hasta los 8 días de edad.

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 Nº 15: Curado y acopio de las unidades**

## Procedimiento experimental



**Tabla N° 6: Procedimiento Experimental**

## CAPITULO 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.

#### 4.1 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.

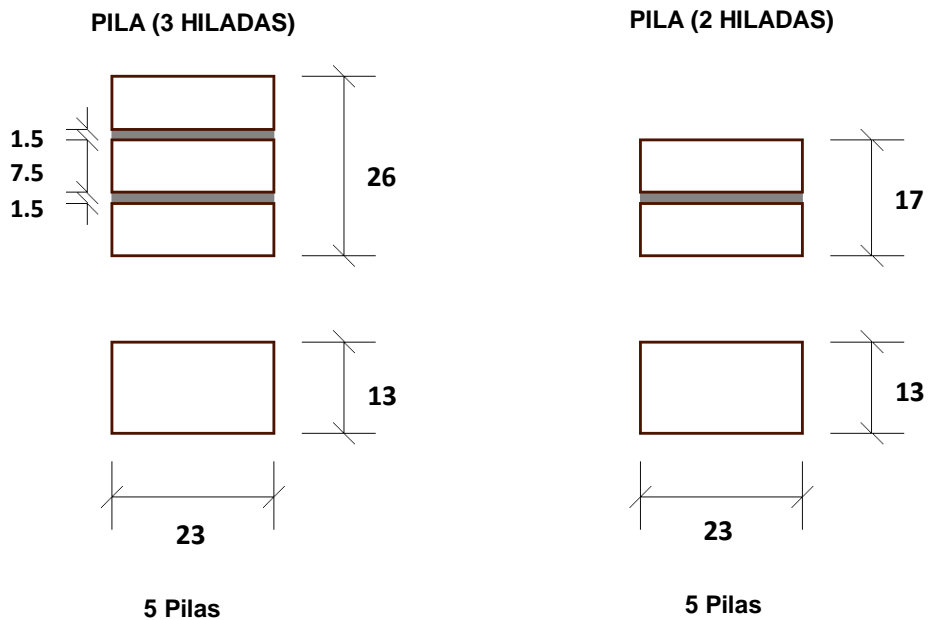
Estas pilas, con una edad nominal de 28 días, se ensayan a compresión axial y los resultados se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de un edificio, así como para controlar la calidad de la construcción de la albañilería. Sin embargo, la resistencia a compresión axial de las pilas (f'm) depende 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 N° 16: Pilas de albañilería sujeta compresión axial**

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.



**Mortero: 1 : ½ : 4 (Cemento Cal Arena)**

**Figura N° 17: Características de las Pilas. Medidas en centímetros.**

Los prismas serán 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.

<b>Incremento de <math>f'm</math> y <math>v'm</math> por edad</b>			
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

**Tabla N° 7: Incremento de  $f'm$  y  $v'm$  por edad**

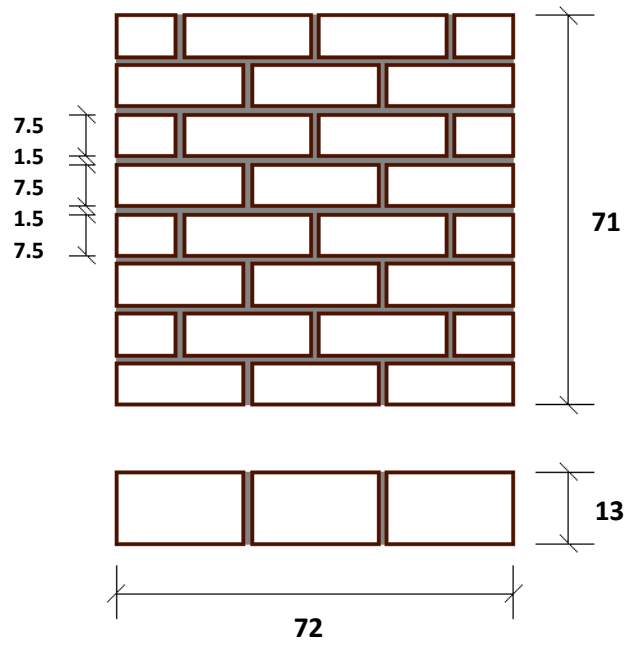
#### **4.2 Características de los Muretes**

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 Fig.18.

**MURETE**



**2 Muretes**

**Mortero: 1 : ½ : 4 (Cemento Cal Arena)**

**Figura N° 18: Características de los Muretes. Medidas en centímetros.**

## CAPITULO V

### CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

#### 5.1 Lineamientos Generales

Se iniciaron los trabajos realizando la mezcla del mortero en un recipiente, donde utilizamos la siguiente relación para la misma: 1: ½: 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 Nº 19: Elaboración del mortero  
1:1/2:4 (Cemento, Cal y Arena)**



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 N° 20: Humedeciendo las unidades de Suelo-Cemento**

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 N° 21: Verificando el grosor de la junta horizontal**





**Figura N° 22: Asentando la media unidad de albañilería en la parte extrema 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 N° 23: Asentando las unidades de albañilería antes de su nivelación**



*Figura N° 24: Rellenando las juntas verticales*

## **5.2 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: ½: 4.



**Figura N° 25: Construcción de Pilas**



**Figura N° 26: Pilas construidas de tres hiladas**

### 5.3 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: ½: 4.



**Figura N° 27: Construcción de Muretes**



**Figura N° 28: Muretes contruidos de 72x72cm**

## **CAPITULO VI**

### **ENSAYOS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA PRENSADA**

#### **6.1 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.

##### **6.1.1 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.

<b>Variación de Dimensiones y Alabeo de Bloques Suelo Cemento</b>					
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%		

**Tabla N° 8: Variación de dimensiones y Alabeo**



**Figura N° 29: Medición de las unidades de suelo-cemento**



**Figura Nº 30: Ensayo de Alabeo**

### **6.1.2 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:

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

**Tabla Nº 9: Absorción de Unidades Suelo Cemento**



**Figura Nº 31: Unidades colocadas en horno**





**Figura N° 32: Unidades sumergidas 24 horas**

### **6.1.3 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/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup>).

<b>Compresión de Unidades Suelo Cemento</b>						
Und	Peso (kg)	Dimensiones			Carga (kg-f)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
		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
<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>						<b>84.61</b>

**Tabla N° 10: Compresión de Unidades Suelo Cemento**

<b>Compresión de Unidades Suelo Cemento</b>	
Resistencia a la compresión promedio	84.61 kg/cm <sup>2</sup>
Desviación estándar	9.82
<b>Resistencia a la compresión final</b>	<b>74.78 Kg/cm<sup>2</sup></b>
Dispersión de resultados	11.61%

**Tabla N° 11: Resultados Finales de Compresión de Unidades**



**Figura N° 33: Unidad de albañilería ubicada en la máquina de rotura**



**Figura N° 34: Resultado de las unidades comprimidas**

## **6.2 Ensayo de Pilas a Compresión Axial**

Luego de que las 10 pilas cumplieren 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 N° 35: Pilas de albañilería de 2 y 3 hileras**



**Figura N° 36: Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head**

### 6.2.1 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 N° 37: Ensayo y forma de falla para pilas de 2 hileras**



**Figura N° 38: Ensayo y forma de falla para pilas de 3 hileras**

### **6.2.2 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/cm<sup>2</sup>, 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/cm<sup>2</sup>, con una baja dispersión de resultados de 6.65% (Tabla 13).

<b>Ensayos a Compresión Axial en Pilas</b>							
Pilas	2 Hileras	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
A = 299 cm <sup>2</sup>	Carga Máxima	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
	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>51.30</b>	<b>53.63</b>	<b>57.38</b>	<b>63.32</b>	<b>58.61</b>	<b>56.85</b>
Pilas	3 Hileras	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
A = 299 cm <sup>2</sup>	Carga Máxima	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
	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>55.97</b>	<b>58.67</b>	<b>52.71</b>	<b>51.58</b>	<b>60.22</b>	<b>55.83</b>

*Tabla Nº 12: Ensayo de compresión axial en pilas*

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.

<b>Resumen de Ensayos a Compresión Axial en Pilas</b>	
	<b>3 Hileras</b>
Resistencia a la compresión promedio	55.83 kg/cm <sup>2</sup>
Desviación estándar	3.71
Dispersión de resultados	6.65%
Esbeltez promedio	2.00
Factor de corrección	0.73

**Tabla N° 13: Resumen ensayo de compresión axial en pilas**

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  $\sigma$  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 ( $f'm = 37.23$  kg/cm<sup>2</sup>) 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<sup>2</sup>).

### **6.3 Ensayo de Compresión Diagonal en Muretes**

Luego que los 2 muretes construidos cumplieren 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 construidos con mortero de cemento del tipo P2 según la tabla 4 de la norma E.070 (Relación 1: ½: 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 N° 39: Muretes refrendados**



**Figura N° 40: Máquina de compresión universal**



*Figura Nº 41: Aplicación de carga sobre murete*

### **6.3.1 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 N° 42: Forma de falla de los muretes**

### 6.3.2 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.

### 6.3.3 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.

<b>Compresión Diagonal en Murete Suelo Cemento</b>						
Murete	P max (kg)	t(cm)	L (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	V'm (kg/cm <sup>2</sup> )	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/cm <sup>2</sup> )					5.15	

**Tabla Nº 14: Compresión diagonal en murete suelo cemento**

En la Tabla 14 se presentan los valores de la carga máxima aplicada ( $P_{max}$ ), el espesor del murete ( $t$ ), la longitud de la diagonal ( $L_c$ ), el área del espécimen sobre la diagonal ( $A$ ), la resistencia a compresión diagonal de los especímenes ( $V_m$ ), 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.

<b>Compresión Diagonal en Muretes Suelo Cemento (v'm)</b>	
Resistencia a la compresión promedio	5.15 kg/cm <sup>2</sup>
Desviación estándar	0.15
<b>Resistencia a la compresión final</b>	<b>5.00 Kg/cm<sup>2</sup></b>
Dispersión de resultados	2.96%

***Tabla N° 15: Resumen Compresión diagonal en murete suelo cemento***

La resistencia a la compresión final 5.00 kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup>).

## RESULTADOS

- **Caracterización del suelo extraído**

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.

<b>Comp. de la Muestra</b>	
% Grava:	0.00%
% Arena:	69.17%
% Finos:	30.83%

**Tabla N° 16: Composición de la muestra**

**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.

<b>.Contenido de Humedad</b>				
Muestra	1	2	3	4
% de Humedad	3.75%	3.25%	3.88%	3.51%
Promedio	3.60 %			

**Tabla N° 17: Contenido de Humedad**

**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%.

<b>Límite Líquido (LL)</b>	<b>Límite Plástico (LP)</b>	<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>
30.30	18.20	12.20

**Tabla N° 18: Límite líquido y plástico**



**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

<b>Gravedad Específica (Gs)</b>
2.51

**Tabla Nº 19: Gravedad específica**

- **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 Nº 20), en menos de 0.7%. Así mismo, su alabeo es bajo, al igual que la dispersión de resultados respectiva

<b>Variación de Dimensiones y Alabeo de Unidades Suelo Cemento</b>					
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%		

**Tabla Nº 20: Variación de dimensiones y alabeo de unidades**

– **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:

<b>Absorción de Unidades Suelo Cemento</b>				
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%	

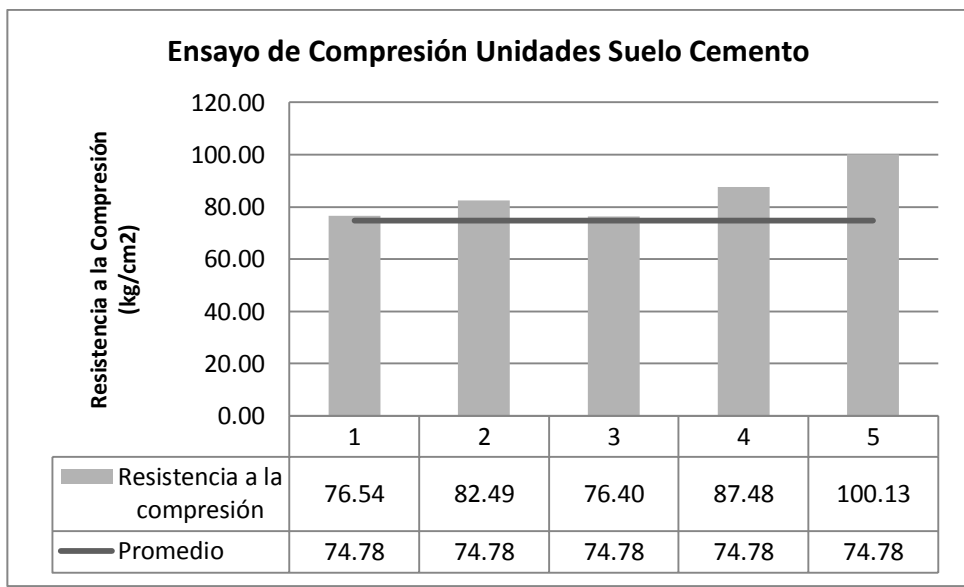
**Tabla Nº 21: Absorción de unidades**

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

En la figura 43 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/cm<sup>2</sup>.

La resistencia promedio final a compresión fue de 74.78 kg/cm<sup>2</sup> con una dispersión de resultados de 11.61% (Tabla 13).



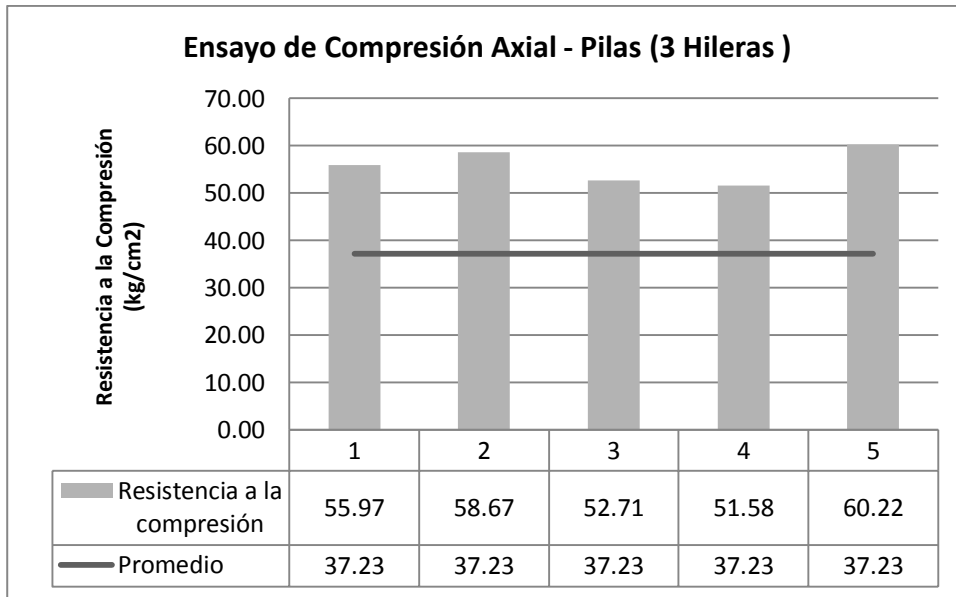
**Figura N° 43: Gráfico de ensayo de compresión de unidades**

**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/cm<sup>2</sup>.

La resistencia promedio final a compresión axial fue de 37.23 kg/cm<sup>2</sup> (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).



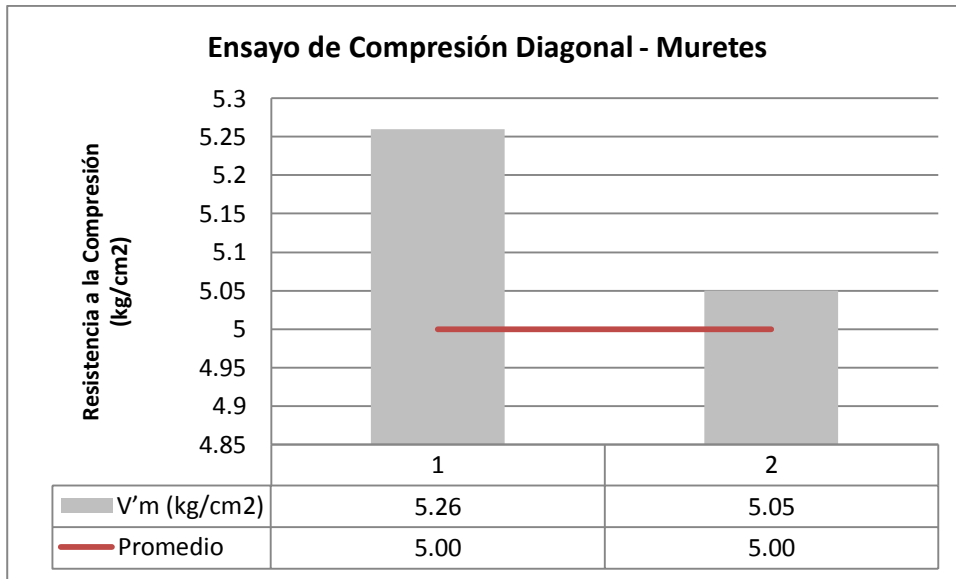
**Figura N° 44: Gráfico de ensayo de compresión axial - pilas**

**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/cm<sup>2</sup>.

La resistencia promedio final a compresión fue de 5.0 kg/cm<sup>2</sup> con una dispersión de resultados de 2.96%.



**Figura N° 45: Gráfico de ensayo de compresión diagonal - muretes**

## 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/cm<sup>2</sup>, este valor supera en 36% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (55 kg/cm<sup>2</sup>).

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/cm<sup>2</sup>, la cual supera ligeramente en 6.38% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (35 kg/cm<sup>2</sup>).

Finalizando los muretes sufrieron fallas por tracción diagonal, obteniendo una resistencia a corte puro de 5.0 kg/cm<sup>2</sup>, ligeramente inferior a lo establecido por la Norma E.070 (5.01kg/cm<sup>2</sup>). Ya que son valores muy parecidos decidimos dar por aceptado dicho resultado puesto que su diferencia es mínima.



## CONCLUSIONES

1. Se pudo confirmar que el suelo presento buenas características para ser utilizado como material en la elaboración de la unidad de la albañilería.
2. 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.
3. 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/cm<sup>2</sup>, mayor en 36% a la resistencia mínima exigida por la norma E0.70 (55 kg/cm<sup>2</sup>) para ladrillos de arcilla King Kong artesanal.
4. 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.
5. 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/cm<sup>2</sup>).
6. La resistencia máxima promedio a corte puro de los muretes hechos con suelo cemento fue 5.0 kg/cm<sup>2</sup>. 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/cm<sup>2</sup>).

## RECOMENDACIONES

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Realizar una investigación utilizando pilas mayores a 3 hileras, de esta forma obtener mayor número de datos y poder verificar nuestra resistencia calculada.

8. Los ensayos deben realizarse en laboratorios equipados con instrumentos y maquinas adecuados y calibrados. De esta manera obtener datos más confiables y verídicos.
9. Efectuar un análisis de costos, analizando en qué medida los ladrillos suelo-cemento son más económicos que los ladrillos artesanales.
10. Se recomienda como línea de investigación realizar ensayos en muros con cargas laterales sísmicas y realizar ensayos sísmicos de módulos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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”.
- FLIN/TROJAN (1991). “Materiales para Ingeniería y sus Aplicaciones”. Tercera Edición. Editorial Mac Graw-Hill Latinoamericana, S.A.
- SMITH, W. (1998). “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”. Tercera Edición. Editorial Mac Graw-Hill España.
- Viviendas Económicas. La opción del suelo-cemento. XI Seminario de Viviendas y Urbanismo. Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.1999.
- JOSEPH E. BOWLES. “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil” 3º Edición.
- TOMANSINI, G. y OLIVERO, F. Diseño racional de Ladrillos de Suelo-Cemento y Análisis para su utilización en viviendas económicas de interés social” [on line]. Disponible en: [http://www.frra.utn.edu.ar/secretarias/cyt/cientifico\\_tecnico/ladrillos.pdf](http://www.frra.utn.edu.ar/secretarias/cyt/cientifico_tecnico/ladrillos.pdf) [consulta]Agosto 2006
- GALLEGOS CASABONNE. H .C. (2005). “Unidad de la albañilería y Propiedades de albañilería simple”. En P. U. Católica (Ed), “Albañilería estructural”. Tercera edición, (pp. 75 -165, 199 – 259.). Perú.


- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO, 2006. Reglamento Nacional de Construcciones. Norma E.070 “Albañilería”.
- VARA HORNA. A (2008). “Cómo hacer una tesis en ciencias empresariales”. Lima, Perú. USMP.

## ANEXOS

### ➤ Informes de Ensayos Preliminares al Suelo Extraído

A través de estos ensayos pudimos determinar datos que nos brindaron información relevante acerca del tipo de suelo que estamos empleando en esta investigación.

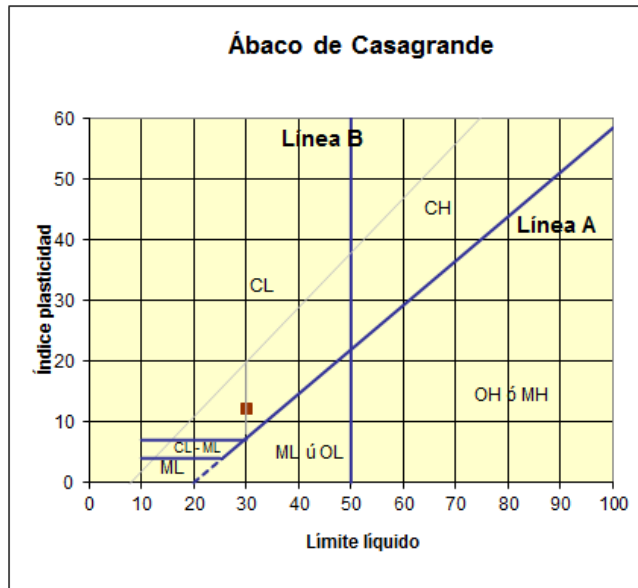
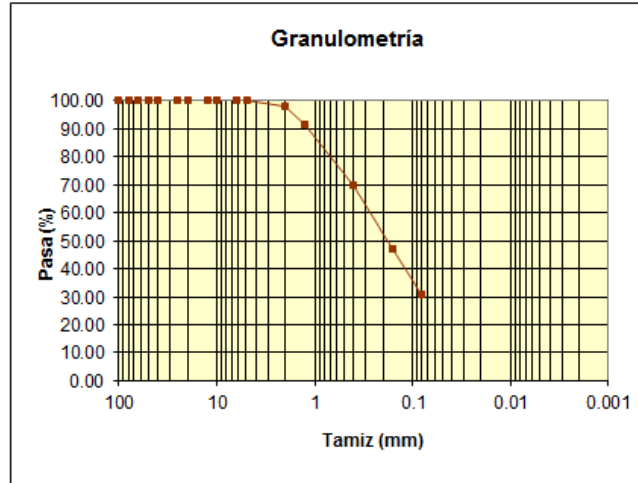
#### a. Ensayo de granulometría por tamizado (húmedo y seco)

	<h1 style="margin: 0;">UPAO</h1>	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
<b>ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>		
TESIS:	<u>Unidades de Albañilería de Suelo-Cemento</u>	FECHA: <u>25/06/2014</u>
LUGAR:	<u>Cantera "La Flaca" - La Libertad</u>	HORA: <u>11:00 a.m.</u>
NORMA:	<u>NTP 339.128</u>	N° LABORATORIO: <u>UPAO</u>

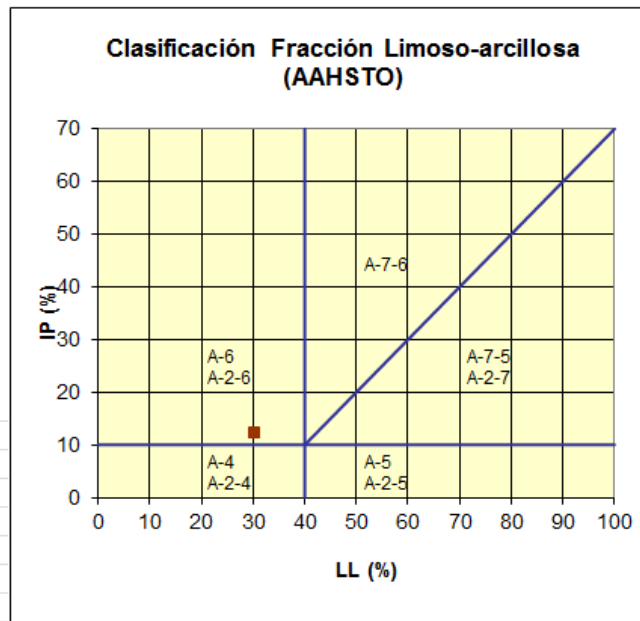
Tamiz	Pasa	Pasante	Retenido	Retenido
(mm)	(%)	(%)	acumulado (%)	parcial (%)
100	100.00	100.00	0.00	0.00
80	100.00	100.00	0.00	0.00
63	100.00	100.00	0.00	0.00
50	100.00	100.00	0.00	0.00
40	100.00	100.00	0.00	0.00
25	100.00	100.00	0.00	0.00
20	100.00	100.00	0.00	0.00
12.5	100.00	100.00	0.00	0.00
10	100.00	100.00	0.00	0.00
6.3	100.00	100.00	0.00	0.00
5	100.00	100.00	0.00	0.00
2	98.22	98.22	1.78	1.78
1.25	91.55	91.55	8.45	6.67
0.4	69.65	69.65	30.35	21.90
0.160	46.86	46.86	53.14	22.79
0.080	30.83	30.83	69.17	16.03

Límite líquido LL	30.30 %
Límite plástico LP	18.20 %
Índice plasticidad IP	12.10 %

Pasa tamiz N° 4 (5mm):	100.00 %
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	30.83 %
D60:	mm
D30:	mm
D10 (diámetro efectivo):	mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	
Grado de curvatura (Cc):	




**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**  
 Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio).  
**Arena arcillosa SC**




<b>Material granular</b>	
Excelente a bueno como subgrado	
<b>A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa</b>	
<b>Valor del índice de grupo (IG):</b>	<b>0</b>

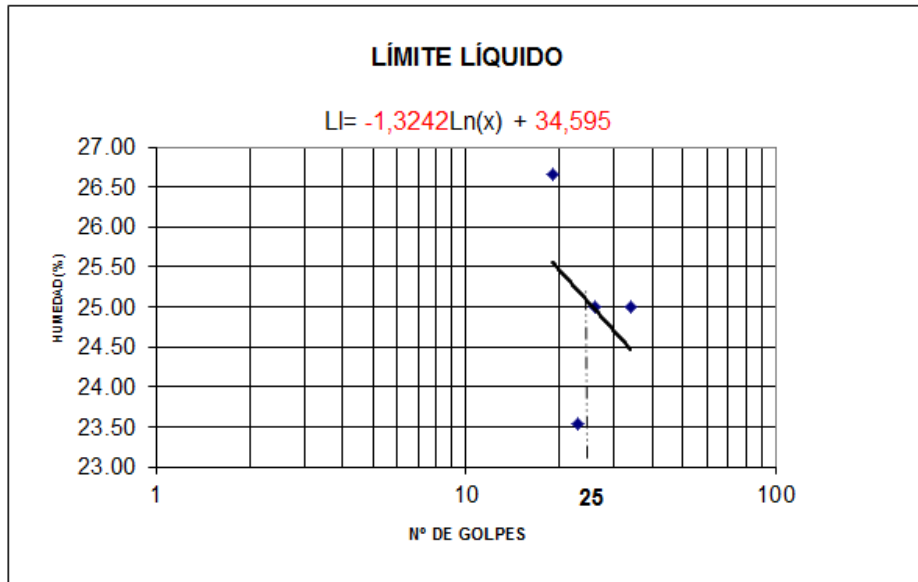
**b. Contenido de humedad**

 <b>UPAO</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
TESIS:	Unidades de Albañilería de Suelo-Cemento			FECHA:	25/06/2014	
LUGAR:	Cantera "La Flaca" - La Libertad			HORA:	09:30 a.m.	
NORMA:	NTP 339.127			LABORATORIO:	UPAO	
<b>Muestra N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
Peso de recipiente	gr.	26.50	27.00	19.50	19.00	
Peso de recipiente + la muestra húmeda	gr.	151.00	154.00	140.00	137.00	
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	146.50	150.00	135.50	133.00	
Peso del agua	gr.	4.50	4.00	4.50	4.00	
Peso de la muestra seca neta	gr.	120.00	123.00	116.00	114.00	
Porcentaje de humedad	%	3.75%	3.25%	3.88%	3.51%	
<b>Promedio</b>	%	<b>3.60%</b>				



### c. Límite líquido y límite plástico

 <b>UPAO</b>		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO						
TESIS:	<u>Unidades de Albañilería de Suelo-Cemento</u>				FECHA:	<u>26/06/2014</u>
LUGAR:	<u>Cantera "La Flaca" - La Libertad</u>				HORA:	<u>04:30 p.m.</u>
NORMA:	<u>NTP 339.129</u>				LABORATORIO:	<u>UPAQ</u>
<b>LÍMITE LIQUIDO</b>					<b>LÍMITE PLASTICO</b>	
Nº DE CAIDAS	19	23	26	34	11	12
Nº DE CAPSULA	7	8	9	10	11	12
W <sub>Th</sub> , gr	29	37.5	29	39.5	18	18
W <sub>Ts</sub> , gr	27	35.5	27	37	17	17
W CAPSULA	19.5	27	19	27	11.5	11.5
W <sub>ω</sub>	2	2	2	2.5	1	1
W SECO , gr	7.5	8.5	8	10	5.5	5.5
ω , (%)	26.67	23.53	25.00	25.00	18.18	18.18
LL: 30.3		LP: 18.2				
		IP: 12.2		IC: 18.2		



$LI = A \cdot \ln(x) + B$	
A=	-1.3242
B=	34.595

**d. Gravedad específica**

 <b>UPAO</b>		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS</b>					
TESIS:		<u>Unidades de Albañilería de Suelo-Cemento</u>		FECHA: <u>26/06/2014</u>	
LUGAR:		<u>Cantera "La Flaca" - La Libertad</u>		HORA: <u>11:30 a.m.</u>	
NORMA:		<u>NTP 339.131</u>		LABORATORIO: <u>UPAO</u>	
<b>Tipo de Peso</b>	<b>Pesos</b>		<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
P1	Peso	Inicial Muestra	150.00	150.00	150.00
P2	Peso	Frasco volumétrico	159.40	158.50	162.30
P3	Peso	Frasco + Agua	657.60	658.10	657.80
P4	Peso	Frasco + Muestra	309.40	308.50	312.30
P5	Peso	Frasco + Muestra + Agua	748.10	748.30	748.10
	Gs =		2.52	2.51	2.51
	Gs promedio =		2.514		