



UCSM

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

***“DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE  
LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA  
ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL COMO  
ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION.”***

BORRADOR DE TESIS PRESENTADO POR:

Bach. Milagros Irasema Holgado Cornejo.

Bach. Rodrigo Prado Salinas.

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AREQUIPA – PERÚ  
2015

## AGRADECIMIENTO

*Empezamos agradeciendo a Dios, por guiarnos y bendecirnos a lo largo de nuestra carrera, por permitirnos culminar con éxito esta meta propuesta.*

*A nuestras familias, que sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo este arduo trabajo.*

*A nuestros profesores que han influido con sus lecciones a lo largo de nuestra carrera universitaria, por formarnos como personas de bien y prepararnos profesionalmente para los retos que pone la vida.*

*En especial al Ingeniero Jorge Rosas, por su apoyo y asesoramiento en el transcurso de esta investigación.*

*Al Ingeniero Fernando Garnica por su disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento con nosotros.*

*Al Ingeniero Juan Holgado por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis.*

*A la Sra. Nancy por su paciencia y colaboración que fue de gran ayuda durante nuestra estancia en el laboratorio.*

*Nuestro especial agradecimiento a nuestros amigos Sixto Paz y Abel Benavides, por el apoyo constante en el transcurso de este trabajo.*

*Y a todas aquellas personas que de un modo u otro nos han tendido la mano en este largo y duro camino.*

*Muchas gracias por todo.*

*“Sólo aquellos que se arriesgan a ir muy lejos, pueden llegar a saber lo lejos que pueden ir”  
(T.S.Elliot)*

## DEDICATORIA

*“Dedico el siguiente trabajo ante todo a Dios, por haberme guiado estos años en mi carrera universitaria, por brindarme fortaleza y Fe en mis momentos de debilidad.*

*A mis padres Juan y Liliam, por apoyarme incondicionalmente en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por ser mi gran ejemplo a seguir.*

*A mis hermanas Claudia y Ana, por llenarme de amor y alegría cuando más lo he necesitado, y con especial cariño a mi abuelita Melida, por sus palabras de ánimo y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.”*

*Milagros Holgado C.*

*“Le dedico a Dios esta tesis, por la compañía y guía durante estos años en mi carrera y por darme la fuerza de voluntad necesaria en los momentos más difíciles.*

*A mi familia, mis padres Manuel y Lilia por su ejemplo de lucha y honestidad, por su apoyo y orientación constante.”*

*Rodrigo Prado S.*

## RESUMEN

---

Esta investigación estudia un material alternativo, el ladrillo de tierra comprimida adicionando cemento, para la construcción de muros no estructurales. Esta propuesta responde fundamentalmente a tres razones, primero económica por cuanto el precio de los muros convencionales, segundo por el confort que la tierra provee como material de construcción y tercero ambiental cuyo impacto tiene que ver con el proceso de fabricación de ladrillos de arcilla cocida.

Inspirado en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido. Los ladrillos suelo-cemento son elaborados con una mezcla de suelo, cemento y agua; mezclados de manera que puedan ser comprimidos por una prensa hidráulica que ejerce una fuerza de 2.5 toneladas

Se dividió el procedimiento en tres fases de experimentación en laboratorio con el fin de elegir las combinaciones óptimas hasta llegar al ladrillo definitivo. Al contar con referencias bibliográficas muy variadas en cuanto al porcentaje de composición del ladrillo, se realizó cada una de ellas y sus variantes con el fin de encontrar el mejor resultado. Para el desarrollo de la investigación se propuso trabajar con 4 tipos diferentes de suelo, tanto en composición como en propiedades para que en diferentes proporciones simulen suelos con distintas características. El criterio usado para el proceso de selección entre fases fue principalmente la resistencia a la compresión tras 7 días de curado. Partiendo en la fase inicial con 15 diseños y 10% de cemento, en la segunda fase, se seleccionaron 7 combinaciones, reduciendo el cemento a 8% y por último en la fase final, luego de seleccionar los 3 diseños definitivos, se realizó una producción de ladrillos en cantidad para realizar ensayos de compresión axial en pilas y en muretes ensayos de compresión diagonal con la finalidad de obtener valores de las propiedades mecánicas.

Los resultados de cada una de las fases ensayadas, se presentan y comentan en el presente documento. Las conclusiones y recomendaciones pueden ser un punto de partida para futuros proyectos de estudio y poder introducir en el mercado un producto alternativo de construcción que sea viable y cumpla con los requerimientos que la norma técnica peruana plantea.

También se desarrolla en esta investigación una máquina prensadora hidráulica manual, para controlar y obtener mayores presiones de compactación que las tradicionales a palanca.

## SUMMARY

---

This research explores an alternate material, the brick of earth compressed with adding cement, for the construction of nonstructural walls. This proposal is due to essentially three reasons: first economic, by the price of conventional walls, second, the comfort that the earth provides as construction material and third, by the environmental impact caused in the manufacturing process of fired clay bricks.

Inspired by the traditional adobe and it replaces the conventional brick. the soil-cement bricks are made with a mixture of soil, cement and water; mixed so that it can be compressed by a hydraulic press exerting a force of 2.5 tons. The procedure was divided into three phases of laboratory experimentation in order to choose the optimal combinations until to get the final brick.

we found varied references in the percentage composition of the brick he was made each with its variants in order to find the best result. For the development of investigation, he was proposed to work with four different types of soil in composition and properties, for that mixtures with different proportions, simulate soils with different characteristics. The criteria used for the selection between phases was mainly compressive strength after seven days of curing.

Starting the initial phase with fifteen designs and 10% cement, in the second phase, seven combinations is selected, reducing the cement to 8% and finally in the final stage, after selecting the three final design, we performed a production of bricks for axial compression test and diagonal compression test, to obtain values of the mechanical properties.

The results of each of the stages tested, are presented and discussed herein. The conclusions and recommendations can be a starting point for future projects, and we can bring to market an alternative construction product that it's viable and meets the requirements that Peruvian technical standard raises.

It's also developed in this study a manual hydraulic pressing machine, to control and achieve higher compaction pressures.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.2.1 Objetivo general: .....	5
1.2.2 Objetivos específicos: .....	5
1.3 ÁMBITO GEOGRÁFICO .....	6
1.4 HIPÓTESIS .....	6
1.5 VARIABLES.....	7
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES</b> .....	9
2.1 HISTORIA DE LA TIERRA.....	9
2.2 TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	10
2.3 TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA .....	13
2.3.1 El Adobe.....	14
2.3.2 El Tapial .....	16
2.3.3 Otras técnicas.....	19
2.5.1 Potential Use of Stockpiled Circulating Fluidized Bed Combustion Ashes (SCFBCA) .....	29
2.5.2 The Effects of the Fiber Contents on the Mechanic Properties of the Adobes.....	30
2.5.3 The Selection of Soils for Unstabilised Earth Building: A Normative Review.....	30
2.5.4 Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo – Cemento .....	31
2.5.5 Proyecto de Construcción de Módulos Anejas a Viviendas en Jujuy .....	31
2.5.6 Mampostería con Tierra Estabilizada Comprimida .....	32
2.5.7 Adobes Comprimidos Suelo-Cemento una Alternativa Ecológica.....	32
<b>CAPÍTULO 3 LADRILLOS SUELO-CEMENTO</b> .....	35
3.1. DEFINICIÓN.....	35
3.2. COMPONENTES.....	35
3.3. PRINCIPIOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE TIERRA .....	41
3.4. DESARROLLO DE PRENSA PARA LADRILLOS .....	46

3.5.	FABRICACIÓN DE LADRILLOS SUELOS – CEMENTO .....	50
<b>CAPÍTULO 4 MORTEROS DE PEGA .....</b>		<b>53</b>
4.1.	DEFINICION Y CARACTERISTICAS .....	53
4.2.	TIPOS DE MORTEROS.....	54
4.2.1	Morteros de Cal o Calcáreos.....	54
4.2.2	Morteros de Yeso .....	55
4.2.3	Morteros de Cal y Cemento .....	56
4.2.4	Morteros de Cemento .....	58
4.2.5	Morteros de Suelo y Cemento .....	58
<b>CAPÍTULO 5 MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>		<b>61</b>
5.1.	MATERIALES.....	61
5.1.1	Tierra .....	61
5.1.1.1	Suelo Arcilloso de Yarabamba .....	63
5.1.1.2	Suelo Limoso de Pocsi .....	66
5.1.1.3	Suelo Arena – Ceniza de Yarabamba .....	69
5.1.1.4	Material Arenoso de la Poderosa.....	71
5.2.	METODOLOGIA .....	73
5.3.	COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS .....	74
5.4.	METODO DE ENSAYOS REALIZADOS.....	89
5.4.1.	Ensayo de Granulometría.....	91
5.4.2.	Ensayo de Limites de Consistencia.....	93
5.4.3.	Ensayo de Proctor Estándar .....	95
5.4.4.	Preparación de las Muestras.....	96
5.4.5.	Ensayo de Determinación del Contenido Orgánico en Suelos .....	97
5.4.6.	Ensayo de Resistencia a Compresión Simple.....	98
5.4.7.	Ensayo de Absorción .....	99
5.4.8.	Ensayo de Succión .....	101
5.4.9.	Ensayo de Humectación y Secado.....	103
5.4.10.	Ensayo de Erosión Acelerada.....	104
5.4.11.	Geometría: Variación de Dimensiones y Alabeo.....	105
5.4.12.	Ensayo de Compresión Axial y Tracción Diagonal .....	106

<b>CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	108
6.1. FASE I.....	108
6.1.1 Alabeo .....	109
6.1.2 Variación Dimensional .....	110
6.1.3 Resistencia a la Compresión.....	116
6.2 FASE II.....	124
6.2.1 Alabeo .....	125
6.2.2 Variación Dimensional .....	126
6.2.3 Resistencia a la Compresión.....	130
6.3 FASE III.....	132
6.3.1 Pruebas Adicionales .....	134
6.3.2 Alabeo .....	137
6.3.3 Variación Dimensional .....	139
6.3.4 Resistencia a la Compresión para Unidades.....	143
6.3.5 Densidad.....	152
6.3.6 Absorción .....	156
6.3.9 Erosión Acelerada.....	172
6.3.10 Contenido de Impurezas Orgánicas .....	173
6.4 EXTENSIÓN FASE III .....	174
6.4.1 Diseño de Morteros.....	174
6.4.2 Fabricación y Ensayo de Pilas.....	179
6.4.3 Fabricación y Ensayo de Muretes .....	182
 <b>CAPÍTULO 7 ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS</b> .....	 188
7.1 FABRICACIÓN DE UN LADRILLO SUELO-CEMENTO.....	188
7.2 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS.....	190
7.2.1 Muro a base de ladrillos suelo cemento con una maquina prensadora hidráulica (prototipo propio).....	190
7.2.2 Muro de ladrillos de arcilla cocida.....	191
7.2.3 Muro a base de ladrillos suelo cemento con maquina prensadora hidráulica automatizada.....	192
 <b>CONCLUSIONES</b> .....	 195
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	199
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	200

<b>GLOSARIO</b> .....	203
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	207
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	212
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b> .....	215
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES</b> .....	219
<b>ANEXOS</b> .....	221



## INTRODUCCIÓN

---

Con esta investigación se pretende concientizar que el desarrollo de una ingeniería sostenible es posible. La bioconstrucción es un campo amplio que merece ser explorado, es una tecnología muy ambiciosa por su eficiencia energética y económica, este concepto es el propuesto en el desarrollo de este trabajo.

El suelo-cemento, llamado también suelo estabilizado, está definido con una mezcla de cemento, suelo y agua, que luego de ser compactado se convierte en un material con gran resistencia mecánica y durabilidad. Este material ha sido utilizado en estabilización de fundaciones, revestimientos de baja permeabilidad y principalmente como pisos sometidos a diversos requerimientos de tráfico y carga, así como también de base y/o sub-base de pavimentos, tanto flexibles como rígidos.

Estos ladrillos son más fáciles de hacer que los bloques de cemento; se sacan de la prensa inmediatamente, amontonándose para su proceso de curación y posterior secado, sin necesidad de usar gran cantidad de moldes. El costo del material para construcción es grandemente reducido ya que la mayor parte de la materia prima proviene del entorno, economizando el costo de construcción que tiene un alto componente en el transporte.

Por otro lado los ladrillos comprimidos son superiores a los de adobe y tierra apisonada que fueron usados en construcciones que hoy tienen más de 100 años de antigüedad, y que aún se encuentran en buenas condiciones.

En el presente documento se describe la metodología utilizada para la construcción del muro y se exponen observaciones, conclusiones y recomendaciones que ayudarán a mejorar el proceso constructivo de mampostería utilizando ladrillos de suelo-cemento.

# CAPITULO 1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN



## CAPITULO 1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los cercos, tabiques y parapetos, trabajan fundamentalmente a carga sísmica perpendicular al plano que los contiene; los tipos de falla por carga sísmica contenida en el plano del tabique son:

- Tracción Diagonal: Esta falla se manifiesta a través de una grieta diagonal en el tabique
- Cizalle: Este tipo de falla se produce a la mitad de la altura del tabique (junta de construcción) y se caracteriza por ser una grieta horizontal.
- Aplastamiento: Esta falla se presenta en las esquinas del tabique, triturándose los ladrillos.



Figura 1-1: Falla por aplastamiento

Esta última es propia de tabiques contruidos con ladrillos tubulares (pandereta) o con alto porcentaje de huecos.

En la Figura 1.2. Se muestra el caso de un tabique compuesto de ladrillos hueco de arcilla artesanales, sin grout en su interior. Los bloques en contacto con el nudo del pórtico se trituraron y al volcarse un tabique, se perdió la *acción de puntal*, flexibilizándose el primer piso, lo que dio lugar al problema de “piso blando”.



Figura 1-2: Falla por efecto de piso blando

Este es un problema muy serio a la que están expuestas todas las construcciones que usan en su tabiquería ladrillos de arcilla artesanal debido a que:

- No tiene una resistencia adecuada, además no presenta ninguna supervisión técnica en su fabricación.
- Las medidas varían mucho, presentado un alabeo exagerado en muchos casos.
- Presenta partículas extrañas muchas veces, observándose partículas blanquecinas no recomendables.

Muchas unidades no cumplen con lo especificado en la norma técnica peruana.



Figura 1-3: Ladrillo artesanal

## 1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 Objetivo general:

Aportar al desarrollo de la tecnología para la fabricación de ladrillos de tierra comprimida para albañilería no estructural; siendo diseñados para cumplir satisfactoriamente los requisitos exigidos en la normativa peruana. Que puedan ser producidos por medio de autoconstrucción y/o pequeñas unidades productivas.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

- Desarrollar el procedimiento de fabricación de ladrillos de tierra comprimida adicionando cemento, calculando la dosificación óptima para lograr buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible.
- Establecer las diferencias físicas y mecánicas que existen entre unidades de albañilería no estructural de tierra comprimida de diferente procedencia de suelo como materia prima.
- Llevar los resultados de la Investigación a un manual operativo para la fabricación de ladrillos suelo-cemento, adecuado a quien fabricará este tipo de material, con explicaciones claras y precisas, con procedimientos y unidades en función de un equipamiento mínimo disponible en obra.

### 1.3 ÁMBITO GEOGRÁFICO

- Departamento: Arequipa
- Ciudad: Arequipa
- Sismicidad: Zona 3 (alta)
- Altitud promedio: 2300 m.s.n.m.
- Temperatura promedio: 20°C
- Humedad relativa promedio: 46%

### 1.4 HIPÓTESIS

Es factible utilizar componentes de tierra cruda para la ejecución de ladrillos comprimidos de suelo-cemento teniendo en cuenta las siguientes condiciones, se pueden obtener comportamientos físicos y mecánicos requeridos según exigencias de la norma técnica vigente (E-070), con suelo de tipo arcilloso, exceptuando los suelos con alto contenido de materia orgánica (sobre todo los suelos ácidos):

- Clasificando correctamente los suelos, determinando el contenido y tipo de arcillas en cada uno de ellos.
- Usando suelos de tipo arcillosos o arenas con un contenido de arcillas de mediana plasticidad (SC).
- Aumentando la presión de compactación, por lo menos a 8 kg/cm<sup>2</sup>, a fin de lograr un aumento en el peso unitario seco, considerando la humedad óptima, en función a la energía a aplicar, para así lograr el mayor acercamiento entre partículas (Proctor).

## 1.5 VARIABLES

Se establecen las variables independientes y dependientes para el estudio.

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	Tipo De Suelo	
	Humedad	
	Estabilizante (8% - 10%)	
	Tiempo De Curado (7 – 28 días)	
	Presión Al Compactar	
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	Propiedades Físicas	Absorción De Agua
	Propiedades Mecánicas	Resistencia A La Compresión
		Resistencia Abrasión Hídrica

Tabla 1-1: Variables consideradas para el estudio



## CAPITULO 2. ANTECEDENTES



## CAPITULO 2. ANTECEDENTES

### 2.1 HISTORIA DE LA TIERRA

La tierra, como recurso natural, ha sido desde tiempos antiguos la principal fuente en el proceso de construcción de todo tipo de edificaciones desde estructuras de carácter austero, tales como viviendas y canchones, hasta estructuras más nobles y obras religiosas, siendo estas los palacios, fortalezas, castillos, murallas [1]; prueba de ello son los vestigios de la ciudad de Jericó, las civilizaciones de Mesopotamia y la Egipcia, la arquitectura oriunda del Yemen o buena parte del patrimonio peruano de muy diversas épocas, pudiendo resaltar la ciudad de Chan Chan (600 d.C.) considerada la ciudad de barro más grande del planeta. Todos y cada uno de estos ejemplos son muestra de la riqueza de esta técnica constructiva milenaria. Ello data desde año 8000 antes de Cristo [2].

La tierra ha sido el material más usado en la construcción casi independientemente del lugar o el tiempo. Es más, desde los tempranos días de la humanidad el barro ya era utilizado como material de construcción, formando con él barreras a la entrada de las cuevas del hombre primitivo para protegerse de ciertos animales y algunos fenómenos meteorológicos.

Debido a su facilidad de extracción e ilimitación del recurso, la humanidad buscó mejorar las características de la tierra y en el proceso encontró elementos con los cuales unirla. Haciendo uso de fibras, como la paja, la cáscara de arroz o la hierba, o de estabilizantes naturales, como la ceniza, el estiércol o la resina de los árboles, así como también de arena o arcilla; se ha pretendido aumentar su resistencia a la intemperie, su resistencia mecánica y su manejabilidad para facilitar su uso.

No obstante, con el paso del tiempo quedó relegada a un material de importancia secundaria cuando la piedra empezó a imponerse en las

construcciones de mayor importancia, sobre todo edificios públicos y religiosos. Las primeras construcciones con piedra datan hacia el año 3000 a. C en Mesopotamia. Aunque toscamente labrada debido a geología del lugar que no presentaba piedra con buenas características constructivas. Alrededor del 2760 a. C. en Egipto, Imhotep construyó para el rey Zoser la primera pirámide escalonada y hacia el 2000 a. C. la cultura griega edificó los palacios cretenses. Esta última fue mucho más activa con la construcción con piedra [3].

Sin embargo, no sólo contra la piedra ha quedado relegada a papeles menos elitistas, siendo en el último siglo la aparición del acero y el hormigón que permitieron ejecutar altas torres y extensas y complejas edificaciones. El uso de estos materiales para este tipo de construcciones es beneficioso, pero la idea de su utilización en casas modestas está anclada al movimiento por el triunfo del progreso y a un rechazo cultural hacia la tierra debido a su relación con la pobreza [4].

El proceso de desaparición de la arquitectura con tierra, ha sufrido una fuerte aceleración en las últimas décadas debido a su inactividad económica y a la despoblación de las zonas rurales, lugares en los que era más factible este tipo de construcciones. Incluso las nuevas tecnologías llegan a las propias zonas rurales, perdiendo su identificación con el medio y su mimetismo con el entorno natural.

## 2.2 TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

La tierra es uno de los elementos imprescindibles en el proceso de la edificación. Puede proporcionar un nivel de confort idéntico o superior al habitual en la construcción convencional valiéndose de la regulación y utilización de las propias características del material [5].

- *Habitabilidad:* Una casa construida con tierra disfruta de un clima interior de alta calidad gracias a que es un buen regulador de la humedad y además tiene la capacidad de almacenar el calor y equilibrar el clima interior.

- *Higroscopicidad*: La humedad del aire interior es uno de los factores que afecta al confort y bienestar de los usuarios de una vivienda. Las paredes de tierra son relativamente porosas y pueden absorber o liberar humedad del ambiente, con una humedad óptima de 40 - 65% mantenida durante todo el año<sup>1</sup>.
- *Inercia térmica*: O la capacidad de almacenar energía dentro de su estructura para retornarla más tarde. Esto lo hace propicio para ser utilizado con éxito en diferentes condiciones climáticas<sup>2</sup>.
- *Aislamiento acústico*: Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una barrera eficaz contra el ruido indeseados.
- *Sostenibilidad*: La tierra es un material natural que puede volver a ser reducido a su estado original y depositado sin peligro ni molestias en cualquier lugar. Los edificios de tierra que no están en uso tampoco generan problema de degradación ambiental ni alteran las condiciones bioclimáticas.
- *Pirorresistencia*: Debido a su naturaleza físico-química, la tierra cruda presenta una gran estabilidad y resistencia al fuego, resultando claramente superior a otros industriales como el acero y el ladrillo.

También cabe mencionar que su disponibilidad, fácil maniobrabilidad, costo asequible y sencillo proceso constructivo permiten la autoconstrucción [1]. Además, el factor estético que logra fundiéndose con el paisaje donde han sido construidas beneficia su incorporación al entorno. Sin embargo, la tierra también tiene ciertas desventajas, siendo las más impactantes dos.

---

<sup>1</sup> La Universidad de Kassel, Alemania, llevo a cabo experimentos demostrando la alta absorción de los bloques de tierra y comprobando que las paredes de tierra simplemente se humedecen, en ningún caso se vuelven blandas, ni pierden sus propiedades iniciales.

<sup>2</sup> Un muro de tierra expuesto todo el día a la radiación solar por la noche empiezan a desprender calor el ganado, este proceso dura 10 horas y garantiza temperaturas constantes en el interior de la vivienda.

La primera es su comportamiento ante el agua. La tierra es un material frágil ante la exposición prolongada de agua, aumentando su degradación y disminuyendo su durabilidad. Esta degradación se da [6],

- Por disolución, separando las partículas de arena de limos y arcillas.
- Por hidratación, que afecta principalmente a las arcillas.

La consecuencia es la debilitación de los muros, el agua produce sobre el barro, un efecto erosivo similar al ejercido sobre el suelo sin vegetación.

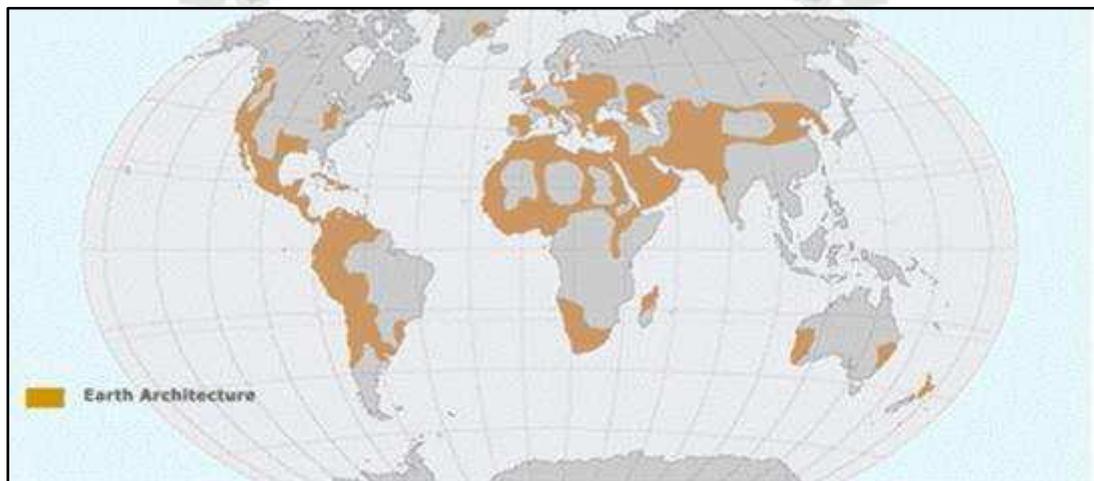


Figura 2-1: Distribución mundial de arquitectura de adobe [2].

La segunda es su poca resistencia mecánica comparada con otros materiales de construcción, esto debido a que no está tratado ni térmica ni químicamente; simplemente ha cambiado la forma natural en que se presentaba. Las estructuras de tierra son vulnerables ante los efectos de los movimientos sísmicos, porque sus escasas características mecánicas, unidas a su gran peso, originan daños en las mismas y puede conllevar un colapso<sup>3</sup> [2].

Este tipo de estructuras son muy comunes en algunas de las regiones más propensas a desastres del mundo, Alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra, a lo largo de América Latina, África, el

<sup>3</sup> Técnicamente, la poca resistencia a tracción produce el fallo en el enjarje de las esquinas de los muros, empezando por la parte superior, lo que deja a la zona interior de los mismos aislada, lo que conduce a una pérdida de estabilidad, provocando la posibilidad de desplome [8].

subcontinente de India y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el Sur de Europa.

En el Perú existen muchos estudios sobre estructuras con barro que buscan precisamente mejorar su comportamiento, con la caña o el bambú, y en el campo de la investigación cada vez más se profundiza en el estudio de las propiedades de la tierra con nuevos componentes y estructuras para adaptar esta arquitectura a la era moderna y cubrir las necesidades de sus usuarios, reivindicando la tierra como material constructivo disponible y eficiente [7].



Figura 2-2: Distribución mundial de riesgo sísmico moderado y alto [2].

### 2.3 TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA

En este apartado serán resumidas las técnicas más usadas en el mundo para la construcción con tierra. También se mencionarán algunas de las técnicas locales tradicionales que siguen activas en la actualidad como:

- El Adobe
- El Tapial
- El Cob
- La Kutcha
- El bongha
- Nyumba Ya Zidina.

### 2.3.1 El Adobe

El adobe es un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos [8]. Su incidencia se remota a los construcciones de gran antigüedad, en la actualidad es difundido y empleado en diferentes regiones, prueba de ello es que es utilizado con el objeto de construir cerramientos verticales (muros) y cubiertas de los edificios. [9]

Para su elaboración es necesario que en la mezcla, el suelo tenga una gradación aproximada de: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55- 70%; y un contenido de agua elevado [8]. Las dimensiones de la pieza varían entre 30 y 40 centímetros de largo y corresponde a una relación usual de 1:1/2:1/4 respecto a la dimensión mayor [10].

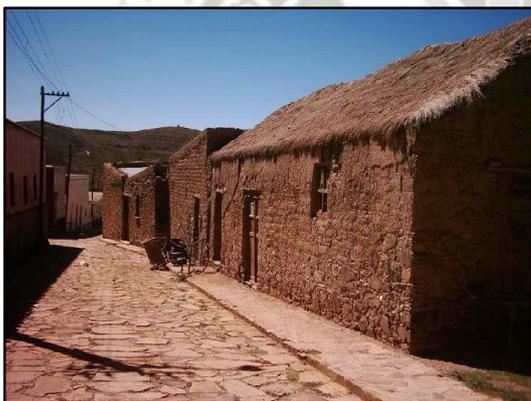


Figura 2-4: Casa tradicional de adobe, Cuzco, Perú.



Figura 2-3: Universidad Chiquitana, Muros de adobe cubierta de cerchas de madera incorporando grandes lucernarios, San Ignacio, Bolivia.

Con respecto al proceso de fabricación este consta principalmente de tres fases:

1. Mezclado de tierra: preparación adecuada de la tierra, no debiéndose utilizar suelos orgánicos [8], limpieza de las impurezas y posterior mezclado con fibras vegetales. Estas fibras evitan fisuraciones por retracción durante el secado.

2. Moldeado: la mezcla se vierte en el molde y enrasa con una tablilla o paleta; el molde se retira inmediatamente. El moldeado se puede realizar de inmediata o durante varios días, por lo tanto resulta necesario añadir agua a la mezcla convenientemente de forma que se garantice su correcta plasticidad. El molde utilizado recibe el nombre de adobera y puede ser simple o múltiple. Puede mejorarse el proceso de desmoldar los adobes aplicando previamente agua o arena en las paredes de las adoberas de madera o aceite en las de acero.



Figura 2-5: Moldeado y preparación de adobe.

3. Secado: Finalmente en esta fase los adobes se dejan secar al sol en la posición en que se han desmoldado. Para que el secado no sea aparente y el adobe se conserve, el producto es almacenado. Pasados 2 o 3 días son volteados sobre el canto lateral para permitir el secado uniforme de la pieza durante aproximadamente entre 7 y 15 días dependiendo de la estación del año. Durante el secado, los adobes deben protegerse de la incidencia directa del viento y el agua, Además debe tenerse en cuenta que el tiempo de secado se verá influenciado por el grado de humedad, por ello algunos investigadores consideran que la producción de adobes se debe realizar en una época adecuada del año [11]. Si el adobe se raja al secarse es porque presenta mucha arcilla y su retracción también es mayor, por lo que obliga la presencia de fibras en mayor cantidad [12].

### 2.3.2 El Tapial

Es una de las técnicas de construcción de mayor antigüedad a nivel mundial, se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos [12]. Es semejante al adobe en cuanto a la composición del material, diferenciándose de este por su proceso de construcción que incluyen tres fases<sup>4</sup> [13]:

- Montaje del cajón o encofrado
- Relleno y compactación del mismo
- Desmontaje o desencofrado

Primero, se arma un encofrado desmontable para formar muros monolíticos. Este suele ser de madera o metálico y de dimensiones diversas, por ejemplo 150 x 90cm con un ancho de 60cm [13].

Segundo, la tierra se vierte dentro del encofrado, y se compacta por tongadas tradicionalmente con un "pisón", compactador manual, sin embargo en la actualidad se utilizan vibradores. La tierra usada para la tapia debe mantener la humedad óptima de compactación; el grado de humedad a la que se efectúa la compactación dependerá de las características de la tierra, siendo, normalmente, próximo al 10% [11]. Puede llevar fibras para evitar la poca retracción y aumentar la resistencia a tracción; también resulta pertinente añadir áridos con el objeto de aumentar la maleabilidad de la tierra o cal para añadirle propiedades ligeramente hidrófugas y mejorar la resistencia de los muros. La composición final depende de los componentes originales de la tierra [14].



Figura 2-6: Metodo constructivo del tapial

<sup>4</sup> Las mencionadas fases han sido extraídas de la página web:  
[http://www.construtierra.org/construtierra\\_construir\\_con\\_tierra.html](http://www.construtierra.org/construtierra_construir_con_tierra.html)

Tercero, acabado el muro se desencofra y se deja secar al sol; una vez esté seco, se puede construir sobre él para hacer el tejado o un segundo piso.



Figura 2-7: Muros de tapial en la Biblioteca Sublette County, Pinedale, Wyoming, EE. UU.

Encontramos tres categorías de tapial:

- a) *Tapia simple de tierra*, el material que rellena el interior de los tapias es una masa de tierra cruda mezclada habitualmente con grava o arena que, vertida y apisonada por tongadas, completa la altura deseada. En este caso el elemento que aglutina y aporta resistencia al muro es la arcilla, aunque en ocasiones pueden añadirse pequeñas cantidades de cal para estabilizar la masa.
- b) *Tapia De Tierra Calicastrada*, tapia con masa interior de tierra protegida con mortero o costra de cal en su cara exterior en una operación simultánea. El sistema consiste en proyectar por el interior de los tapias o encofrados una capa de mortero de cal antes de proceder al vertido de la tongada de tierra. Esta operación se realiza en bandas horizontales que coincidirán con una o varias tongadas de tierra. Presenta un característico acuñado que garantiza el perfecto anclaje entre el revestimiento exterior y la masa interior de tierra.
- c) *Tapias Mixtas*, se denominan a aquellas en las que la tierra se combina con otros materiales, normalmente, piedra o ladrillo, potenciando sus características mecánicas y su durabilidad frente a agentes atmosféricos. Existen diferentes variedades de este tipo de tapias:

- i. *Tapia valenciana*, tapia realizada con un paramento externo con ladrillos, normalmente a tizón, colocados al tresbolillo que afloran en la costra de cal
- ii. *Tapia con brencas*. Se trata de una tapia de tierra reforzada con yeso, material más económico que la cal, el término catalán brencas, indica la medialuna más resistente de mortero de yeso que se forma en los extremos de cada tapia derivada del mismo proceso constructivo. Es un tipo de tapia típica de Teruel, Aragón y en la Meseta castellana.
- iii. *Tapia de piedra y tierra*. Es un tipo de tapia similar a la tapia valenciana pero a diferencia de esta en lugar de ladrillos se entestan contra los tableros mampuestos o losas de piedra. Es un tipo de tapia muy poco común.
- iv. *Tapia de tierra y machones*. Tapia con pilares o machones de fábrica de ladrillo en el interior del encofrado. En muchos casos estos machones se realizaban con adobes o mampuestos de piedra.

Características del material	
Contenido inicial de humedad	8,20%
Retracción	0,15%
Resistencia a compresión	3,2 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	650 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a flexión	0,63 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a cortante	0,79 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 2-1: Datos numéricos de algunas de las características del tapial [12]

### 2.3.3 Otras técnicas

Dependiendo de la cultura y las necesidades sociales y climáticas se han creado diversas técnicas de construcción con tierra cuyo conocimiento no ha sido muy difundido. En el mundo muchas variantes han sido desarrolladas. Estos son algunos ejemplos:

**El Cob.** Es un sistema tradicional en el sudeste del Reino Unido. Consta de muros monolíticos moldeados y apilados a mano, estos están hechos con abundante paja y barro que contiene una alta proporción de arcilla, lo que normalmente da lugar a retracciones excesivas. El moldeado se realiza directamente en el muro sin encofrado [12].

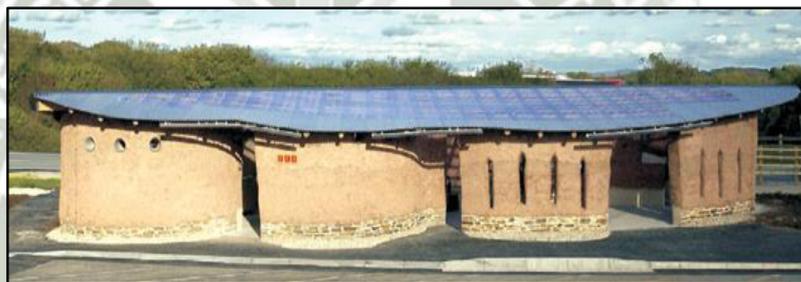


Figura 2-8: Muros de cob y cubierta captadora de energía solar térmica en el Pabellón de Servicios del Edén Project, Cornwall, Reino Unido.



Figura 2-9: Muros de cob y estructura de cubierta en el Pabellón de Servicios del Edén Project, Cornwall, Reino Unido.

**La Kutcha.** Es una casa tradicional de Bangladés, que además de usar barro y paja en sus muros, puede utilizar madera en su estructura y tener tejados de chapas onduladas. Alrededor del 74% de la población vive en este tipo de casas, se les puede encontrar en los pueblos y las áreas suburbanas a lo largo de todo el país [15].



Figura 2-10: Kutcha típica con tejado de estaño en Muktagacha, Mymensingh, Bangladesh.

**El Bhonga.** Se encuentra en las zonas rurales de India como viviendas tradicionales. Son casas de una única habitación con forma circular de entre 3 y 6 metros de diámetro, compuesta por muros hechos con piezas de adobes y mortero de barro, y un tejado cónico de paja [16].



Figura 2-11: Casa tradicional en zona rural en el distrito Kutch, estado de Gujarat, región de India.

**Nyumba Ya Zidina.** Es un tipo de construcción típica de Malawi y en los países vecinos de Zambia y Tanzania, se le puede apreciar tanto en zonas rurales como urbanas abarcando aproximadamente el 45% de las edificaciones del país. Esta técnica incluye ladrillos de barro no cocidos unidos con mortero de barro levantados sobre un pie de piedra, techados con una cobertura de paja [17].



Figura 2-12: Los elementos clave de soporte de carga

Material	Densidad	Resistencia a compresión
adobe	1200 - 1500 kg/m <sup>3</sup>	0,53 - 1,72 N/mm <sup>2</sup>
cob	1615 kg/m <sup>3</sup>	1 N/mm <sup>2</sup>
tapial	1900 - 2200 kg/m <sup>3</sup>	3 - 4 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 2-2: Cuadro comparativo con las resistencias a compresión de algunas de las técnicas de construcción con tierra.

## 2.4 SITUACIÓN DE LA NORMATIVA

La tierra es cada vez más valorada como material de construcción. Dado el creciente interés por este antiguo material, y ante la falta de un marco legal muchos países intentan normalizar su uso para resolver los problemas actuales derivados de la ausencia de una normativa que permita el uso de las técnicas de construcción con tierra cruda.

Son numerosos los trabajos que se centran en el estudio de normas y reglamentos en el ámbito de la construcción, a continuación se detallan a nivel nacional e internacional.

### 2.4.1 Normativa en el Ámbito Nacional

En el Perú la Normalización, entendida como la actividad sistemática y organizada de elaborar normas técnicas, es de origen reciente. Se inicia con la creación del Instituto Nacional de Normas Técnicas Industriales y Certificación (INANTIC). Dicha institución continuó sus actividades hasta 1970, dando paso al Instituto Nacional de Investigación Tecnológica y Normas Técnicas (ITINTEC), creado por la Ley General de Industrias. Finalmente, desde finales de 1992 las labores de normalización pasaron a estar a cargo del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), creado el 24 de noviembre de dicho año. Así, las Normas Técnicas Peruanas son aprobadas por el INDECOPI en su calidad de Organismo Peruano de Normalización.

Si bien es cierto, en nuestro país se carece de una norma específica para bloques de tierra comprimida, se posee normas para ladrillos de tierra cocida y normativa sobre adobe.

Con respecto a la normativa sobre ladrillos de arcilla, se tiene las normas pioneras ITINTEC, de las cuales se puede tomar como referencia las siguientes:

a) *ITINTEC 331.017 Elementos de arcilla cocida.*

Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos.

b) *ITINTEC 331.018 Elementos de arcilla cocida.*

Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo.

c) *ITINTEC 331.019 Elementos de arcilla cocida.*

Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Muestreo y recepción.

Y de igual manera, la Norma Técnica Peruana, NTP 399.613 Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Estas normas, exponen los requerimientos y la forma adecuada de realizar el muestreo y los diversos ensayos de los ladrillos de arcilla cocida, utilizados en albañilería. Además de encontrar definiciones, clasificación y condiciones generales que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida.

Por otro lado, con respecto al adobe, se posee la norma E.080:2006, esta es considerada como una de las principales fuentes de consulta referente al tema, debido a la gran similitud entre los materiales Adobe y suelo-cemento. Es claramente una de las normas más usadas como guía para la construcción popular con tierra en zonas de riesgo sísmico. Es también de los documentos legislativos más nombrados en las investigaciones sobre construcción con tierra, quizás por ser de las normas que más datos dan y más precisas son.

La norma comprende lo referente al adobe, tanto simple como estabilizado, como unidad de albañilería para la construcción, estableciendo sus características, comportamiento y diseño. Su objetivo es hacer posible proyectar edificaciones de interés social y bajo coste que resistan acciones sísmicas, evitando su colapso. A comparación de otras normativas, la norma E.080:2006, diferencia tres zonas sísmicas para organizar tablas y exigencias. Sin embargo, anteponiendo lo más importante para esta investigación, determina unos valores límite para los componentes del adobe: arcilla: 10-20%, limo: 15-25% y arena: 55-70%, no debiéndose usar material orgánico para su

producción. Después, constituyendo la mayoría de las recomendaciones de la norma, describe procesos constructivos para reducir los efectos de los movimientos sísmicos en las casas hechas de adobe. Además, con respecto al adobe se puede mencionar a las Normas Técnicas Peruanas:

a) *NTP 331.201:1979 (Revisada el 2012): Elementos de Suelo sin Cocer.*

Adobe estabilizado con asfalto para muros. Requisitos.

1ª Edición, Reemplaza a la NTP 331.201:1979

b) *NTP 331.202:1979 (Revisada el 2012): Elementos de Suelo sin Cocer.*

Adobe estabilizado con asfalto para muros. Métodos de ensayo.

1ª Edición, Reemplaza a la NTP 331.202:1979

c) *NTP 331.203:1979 (Revisada el 2012): Elementos de Suelo sin Cocer.*

Adobe estabilizado con asfalto para muros. Muestreo y recepción.

1ª Edición, Reemplaza a la NTP 331.203:1979

Estas establecen las definiciones, condiciones generales y requisitos de los adobes de suelo estabilizado con asfalto RC-250 que se utilizan en la construcción de muros.

#### **2.4.2 Normativa en el ámbito internacional**

En esta sección se muestran un conjunto de normas o reglamentos publicados por los Organismos Nacionales de Normalización o autoridades competentes específicas para la construcción con tierra.

Contados países son los pioneros en establecer guías de buena construcción, límites de resistencia, proporciones de componentes, etc. A continuación se nombra los principales países y sus respectivas normativas, dando mayor enfoque a la norma Española UNE 41410.

### 2.4.2.1 *Brasil*

Este país ha emitido trece normas desarrolladas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) desde 1986 hasta 1996, sobre el suelo-cemento y sus aplicaciones constructivas en forma de ladrillo suelo-cemento y pared monolítica.

### 2.4.2.2 *Bolivia*

Nuestro país vecino posee normativa vigente para la producción de ladrillos estabilizados de tierra, características del mortero de junta, así como también de las condiciones para la puesta en obra.

Las principales normas bolivianas vigentes son las siguientes:

- *NB 1220021:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Terminología, definiciones, clasificación y designación.
- *NB 1220022:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Especificaciones técnicas.
- *NB 1220023:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Determinación de las dimensiones, la masa y la densidad.
- *NB 1220024:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Determinación de la resistencia a compresión seca.
- *NB 1220025:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Determinación de la resistencia a compresión húmeda.
- *NB 1220026:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Determinación de la resistencia a la abrasión
- *NB 1220027:2008 Bloques prensados de tierra (BPT)*  
Determinación de la absorción capilar

- NB 1220028:2009 Código de buenas prácticas para la producción de bloques prensados de tierra (BPT)
- NB 1220029:2009 Bloques prensados de tierra (BPT)  
Clasificación y definición de morteros de tierra (MT)
- NB 1220030:2009 Bloques prensados de tierra (BPT)  
Especificaciones técnicas para morteros de tierra (MT)

#### **2.4.2.3 Colombia**

En 2005 se emite la norma colombiana NTC 5324 (ICONTEC 2004) editada por ICONTEC, siendo una traducción de la norma experimental francesa XP P13-901,2001 (AFNOR 2001) sobre ladrillos suelo-cemento.

#### **2.4.2.4 Estados Unidos**

Hace cinco años atrás, la organización internacional “American Society for Testing and Materials” ha desarrollado la norma técnica ASTM E2392 M10 (ASTM 2010) aprobada en enero del 2010 y publicada en marzo de ese mismo año. Se trata de una guía de diseño para sistemas construidos con tierra.

#### **2.4.2.5 España**

En España hasta hace unos cuantos años no existía nada acerca sobre este material. Fue recién en el año 2008 cuando se publicó la norma UNE 41410, definiendo al ladrillo de suelo-cemento como Bloque de tierra comprimida (BTC). Su principal objetivo es clasificar el uso de estos según fábricas de albañilería, estableciendo las características que deben cumplir los bloques y los ensayos que hay que realizar para determinarlas.

Esta norma en especial nos orienta para empezar a desarrollar investigaciones en este campo, debido a que brinda una serie de guías respecto a lo que los fabricantes de BTC deben declarar en el producto.

Da recomendaciones de los componentes de la tierra empleada: grava, arena, limo y arcilla, mezclados con agua y opcionalmente con estabilizantes y otros aditivos. Ofrece un cuadro orientativo con la granulometría de los áridos que conforman la tierra, en el que destaca la inclusión de gravas con tamaño máximo de 20 milímetros y un alto contenido de limos (hasta un 30%).

Además, en los anexos describe propiedades interesantes para los BTC. Por ejemplo, la acción de los sulfatos es negativa y deriva del uso del cemento Portland como estabilizante o como mortero de unión. Por otro lado, posee un anexo C, el cual informa de unos criterios de elección de los materiales basados en razones de sostenibilidad [18].

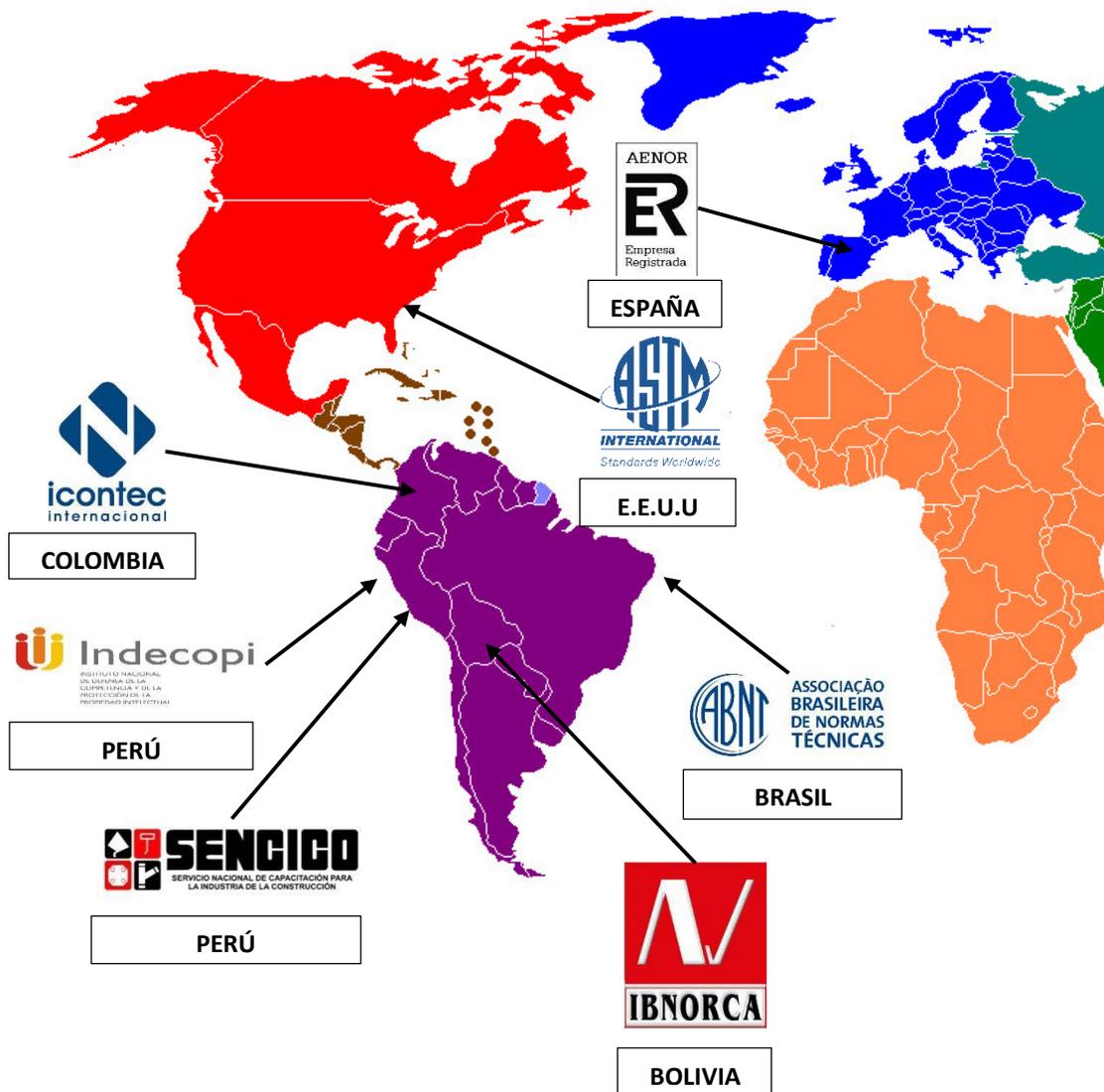


Figura 2-13: Normativa de Tierra en el ámbito Mundial

País	Norma/Reglamento	Organismo	Estabilización	Técnica			Notas
				Adobe	BTC	Tapial	
Brasil	NBR 8491:1986	ABNT	X		X		BTC estabilizado con cemento especificaciones, métodos de ensayo.
	NBR 8492:1986						Procedimiento fabricación BTC con prensa manual/hidráulica.
	NBR 10832:1989						Especificaciones y métodos de ensayo de bloques de suelo- cemento.
	NBR 10833:1989						
	NBR 10834:1994						Métodos de ensayo para suelo-cemento.
	NBR 10835:1994						
	NBR 10836:1994						
	NBR 12023:1992						
	NBR 12024:1992						
	NBR 12025:1990						
	NBR 13554:1996						
	NBR 13555:1996						
NBR 13553:1996	X	Tapia con cemento.					
Bolivia	NB 1220021:2008	IBNORCA			X		
	NB 1220022:2008						Especificaciones y métodos de ensayo de bloques prensados de tierra.
	NB 1220023:2008						
	NB 1220024:2008						Buenas prácticas para la producción.
	NB 1220025:2008						
	NB 1220026:2008						
	NB 1220027:2008						Especificaciones técnicas para morteros
	NB 1220028:2009						
	NB 1220029:2009						
NB 1220030:2009							
Colombia	NTC 5324	ICONTEC	X		X		Estabilizado con cemento
E.E.U.U	NMAC, 14.7.4:2009	CID		X	X	X	Estatal de Nuevo México
	ASTM E2392 M-10	ASTM		X	X	X	American Society for Testing and Materials.
España	UNE 41410:2008	AENOR			X		Primera norma Europea
Perú	NTE E 0.80:2000	SENCICO		X			Norma de Adobe
	NTP 331.201:1979	INDECOPI	X	X			Elementos de Suelo sin Cocer.
	NTP 331.202:1979						
	NTP 331.203:1979						

Tabla 2-3: Normativa de Tierra en el ámbito mundial

## 2.5 INVESTIGACIONES PREVIAS

En esta sección se describe brevemente las principales investigaciones realizadas con anterioridad sobre este tema o sobre temas afines. Estas investigaciones, se han tomado como referencia para la elaboración de la tesis presentada.

### 2.5.1 Potential Use of Stockpiled Circulating Fluidized Bed Combustion Ashes (SCFBCA)

*“Uso potencial de las existentes cenizas circulantes de combustión de lecho fluidizado.” [19]*

Esta investigación propone el uso de cenizas “SCFBCA” procedentes de combustiones no especificadas en el estudio, con el fin de comprobar si mejoraban las características de los BTC. Las probetas fueron fabricadas con tierra que se componía de 56 % arena, 21 % limo y 23 % arcilla en su mayoría. El curado fue durante 28 días, obteniéndose que los ladrillos con mejores resultados fueron los compuestos con SCFBCA, cenizas volantes, cal y arena.

Se llega a la conclusión que las probetas con adición de arena, la mejor proporción era un 30 %, y con un 30 % de arcilla también se comportaban óptimamente. Sin embargo la adición de las SCFBCA hacía disminuir la resistencia y aumentar la absorción de agua. Al contrario de las cenizas volantes, que mejoraban esta características levemente.

### 2.5.2 The Effects of the Fiber Contents on the Mechanic Properties of the Adobes.

*“Los efectos de fibras contenidas sobre las propiedades mecánicas de los adobes.” [20]*

A diferencia de la investigación anterior, las fibras son el material analizado principalmente en este estudio. Sin embargo, posee datos importantes, respecto a la composición de la tierra. Las probetas han sido tomadas en Alemania y su composición era 15 % arcilla, 25 % limo y 60 % arena.

Los resultados en relación al uso de fibras, demuestra que el aumento de fibra reduce la contracción y aumenta la resistencia a flexión, pero disminuye linealmente la resistencia a compresión, ya que necesita más agua y pierde densidad. Por otra parte, el aumento de agua y de arcilla provoca contracciones mayores.

### 2.5.3 The Selection of Soils for Unstabilised Earth Building: A Normative Review.

*“La selección de suelos para la construcción de tierra estabilizada: Una revisión normativa.” [21]*

Este estudio realiza un repaso por las normativas mundiales sobre la construcción con tierra comprimida y no comprimida para obtener relaciones entre ellas en cuanto a sus componentes. Se presenta una conclusión alarmante, debido a que la información recopilada era muy variada y en muchos aspectos no tenían relación las composiciones de las materias primas. Sin embargo, en lo relativo a este trabajo, el autor de ese estudio concluyó que las exigencias establecían el contenido de arcilla entre 10 y 15 % para tierra no comprimida, y para BTC, variaba entre 10 y el 22 %, y el limo entre 10 y 25 %.

#### **2.5.4 Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo – Cemento**

*Revista Cemento, empresa HYDRAFORM [22]*

Este estudio realizado por la empresa HYDRAFORM, muestra la importancia de poseer una máquina ideal para aprovechar al máximo el elemento natural que se encuentra en todos lados: el suelo, optimizando el sistema que revoluciona por lo rápido del proceso y el producto obtenido, pudiéndose utilizar en todo tipo de construcciones.

Esta máquina se convierte en una pequeña fábrica portátil de "ladrillos o bloques" con la particularidad de que, como fuera dicho, su producción se realiza al pie de obra, ahorrando de esta manera; transporte, tiempo y costo por unidad.

Información relevante obtenida de este estudio es la composición del suelo con que trabajan, arcilla 5 a 10%, limo 10 a 20% y arena entre 60 a 80%. Además, se indica que el suelo se debe pulverizar hasta obtener una granulometría que pase por una zaranda de 5 mm de abertura.

#### **2.5.5 Proyecto de Construcción de Módulos Anejos a Viviendas en Jujuy**

*Jujuy - Argentina [23]*

El proyecto inicial era la construcción de módulos con bloques de hormigón y tejado de chapa, pero el proyecto evolucionó en que las viviendas fueras más dignas, confortables y, porque no, más económicas. Dando como resultado un nuevo proyecto potencia enormemente la realización de cursos de capacitación in situ y con la gente de la región para la continuidad del proyecto una vez los voluntarios hayas finalizado la cooperación.

Es por este motivo que se toma como referencia los datos proporcionados, respecto a los BTC. La proporción óptima que presenta es de arcilla 5% a 35%, limo 0% a 20% y arena 40% a 80%.

### **2.5.6 Mampostería con Tierra Estabilizada Comprimida**

*Universidad Nacional de Tucumán [24]*

Este estudio tiene como finalidad principal demostrar que los sistemas de mampostería de BTC pueden ser diseñados para cumplir satisfactoriamente los requisitos exigidos en las normativas existentes.

La parte más relevante para nuestro estudio, se centra en la etapa de diseño de los mampuestos, con respecto al dimensionamiento se plantea bloques de 29,00 cm x 14,00 cm x 0,10 cm -largo, ancho y alto respectivamente. Por otro lado, acerca de la composición del suelo, los ensayos de laboratorio determinaron que los márgenes apropiados para alcanzar las propiedades pre-establecidas, debía contener aproximadamente 60 % de limo, 30 % de arena y 10 % de arcilla.

### **2.5.7 Adobes Comprimidos Suelo-Cemento una Alternativa Ecológica**

*Ing. Godofredo Edgar Choque Ruelas - Ing. Julio Huamán Meza [25]*

Esta investigación difundida por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), propone la mejora de las condiciones de vida de la población altiplánica y en especial de los pobladores del departamento de Puno.

Presenta un mejoramiento en la utilización de técnicas del adobe, sobre todo en una nueva alternativa constructiva como son los adobes comprimidos de suelo- cemento. Al igual que en los estudios analizados previamente, de esta investigación la información que se considera de mayor importancia es la dosificación que se propone en la composición del suelo 30% de arcilla y 70% de arena.

Todos los estudios expuestos previos, como ya se mencionó, han sido tomados como fuente de consulta, sobre todo en el aspecto de la dosificación del suelo. Con el propósito de sintetizar la información, se presenta a continuación una tabla resumen.

INVESTIGACIONES	PORCENTAJE		
	ARENA	ARCILLA	LIMO
<i>Potential Use Of Stockpiled Circulating Fluidized Bed Combustion Ashes (SCFBCA)</i>	56%	23%	21%
<i>The Effects Of The Fiber Contents On The Mechanic Properties Of The Adobes</i>	60%	15%	25%
<i>The Selection Of Soils For Unstabilised Earth Building: A Normative Review</i>	65%	15%	20%
<i>Norma Peruana E.080 ADOBE</i>	55% -70%	10% -20%	15% - 25%
	60%	20%	20%
<i>Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo – Cemento</i> <i>Revista Cemento, empresa HYDRAFORM</i>	60% -80%	5% - 10%	10% -20%
	75%	10%	15%
<i>Proyecto de Construcción de Módulos Anejas a Viviendas en JUJUY</i>	40% -80%	5% - 35%	0% -20%
	70%	20%	10%
<i>Mampostería con Tierra Estabilizada Comprimida</i> <i>Universidad Nacional De Tucumán</i>	30%	10%	60%
<i>Adobes Comprimidos Suelo-Cemento una Alternativa Ecológica</i> <i>Ing. Godofredo E. Choque R. - Ing. Julio Huamán M.</i>	90%	5% - 30%	0%
		10%	

Tabla 2-4: Investigaciones previas y dosificación que recomiendan

## CAPITULO 3. LADRILLO SUELO - CEMENTO



## CAPITULO 3. LADRILLOS SUELO-CEMENTO

### 3.1. DEFINICIÓN

Los ladrillos suelo- cemento, son el producto resultante de la mezcla de tierra, agua y cemento en proporciones adecuadas, sometidas a compresión a través de una máquina con el objetivo de obtener altas densidades, y luego pasa por un proceso de curado para que se produzca su endurecimiento [26].

### 3.2. COMPONENTES

#### 3.2.1. Tierra.

Es el material básico que interviene en mayor proporción en la conformación del bloque.

#### **Condiciones:**

El suelo debería tener una constitución tal, que requiera el menor contenido de cemento. Es fundamental desechar la capa superficial que posee restos orgánicos. Preferiblemente, utilizar la capa que está por debajo de 30 a 60cm según el terreno. Los componentes de la tierra son: Arena (grano grueso sin cohesión), limo (grano fino sin cohesión) y arcilla (grano fino con gran cohesión) [27].

Deben rechazarse las tierras que contengan [18, 28]:

- Materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%.
- Sales solubles en contenido mayor del 2%.
- Contenido en arcillas menor al 10%.

La presencia de materia orgánica tienen un efecto perjudicial cuando se encuentra en estado de descomposición, ya que contiene ácido húmico que impide o retarda el fraguado y endurecimiento del cemento, reduciendo la resistencia y la durabilidad de la mezcla. Si la materia orgánica no se encuentra en estado de descomposición o no ha llegado a formarse ácido húmico, su

efecto sobre el cemento es perjudicial solamente en lo que se refiere a la resistencia estructural de la arena por debilitamiento de la sección [29].

**a) Arcilla:**

La arcilla es una roca sedimentaria constituyente esencial de gran parte de los suelos y sedimentos, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano inferior a  $2 \mu\text{m}$  [30].

Son plásticas esto es debido a que el agua envuelve las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. No obstante, no todas las arcillas se comportan de la misma manera. Esta situación es demostrable gracias a los límites de Atterberg: la relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Esta variación de las propiedades se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y la perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástica es la arcilla [30].

Las arcillas son de fundamental importancia para la fabricación de las unidades por sus propiedades aglomerantes que mejoran su resistencia inicial y la trabajabilidad. El suelo contiene en su composición cierta cantidad de arcilla, pero puede ser excesiva o insuficiente. Lo más recomendable es hacer ensayos de plasticidad del suelo para determinar los límites de Atterberg. De todas maneras, la falta de arcilla se nota a la hora de amasar el barro para crear las piezas de albañilería, ya que la masa se debe trabajar más duramente y apenas gana cohesión. Por el contrario, un exceso en la cantidad de arcillas produce una pieza con pérdida de resistencia.

**b) Arena:**

La arena es un conjunto de partículas de las rocas obtenidas por desintegración o trituración natural o artificial, en formas de granos o partículas redondas, angulosas o laminares; debiendo tener un tamaño máximo de 4,76 mm y como tamaño mínimo 0,075 mm <sup>5</sup> [28].

- Arenas gruesas: Las que pasan una malla de 5mm y son retenidas por otra de 2mm.
- Arenas medias: Las que pasan una malla de 2mm y son retenidas por otra de 0.5mm.
- Arenas finas: Las que pasan una malla de 0.5mm y son retenidas por otra de 0.02mm.
- Agregados artificiales (arenas, confitillos, gravas.) Se obtienen de la disgregación mecánica de rocas mayores, como el basalto (trituración, cribado y selección).

Una partícula individual dentro de este rango es llamada «grano de arena». Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca (o psamita). La procedencia de las arenas puede variar los componentes químicos que la conforman, así como sus propiedades físicas y químicas<sup>6</sup> [31].

- i. Arenas naturales:* Producto de la disgregación natural de las rocas, las de mejor calidad son las que contienen sílice o cuarzo (color azul). Procedencia de río, de cantos rodados.

---

<sup>5</sup> Las mencionadas tamaños han sido extraídas de la página web:

<http://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html/>

<sup>6</sup> Los siguientes procedencias de arena son citadas del libro: “Temas sobre materiales de construcción” de J. E. Sequeira.

- ii. **De mina:** Depositados en el interior de la tierra formando capas, de forma angular, color azul, gris y rosa, los de color rosa contienen óxido de hierro.
- iii. **De playa:** Requieren proceso de lavado con agua dulce, contienen sales y restos orgánicos.
- iv. **Volcánicas:** Se encuentran en zonas cercanas a los conos volcánicos, de color negro.

Hay que tener en cuenta que las arenas conforman el esqueleto resistente del ladrillo suelo-cemento puesto que soportan las cargas y evitan la fisuración.

#### c) Limo

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. El diámetro de las partículas de los limos, está comprendido entre 0,0039 mm a 0,0625 mm [32].

- *Limo orgánico o Légamo:* barro, lodo, restos vegetales que suele encontrarse en los ríos, siendo este de características plásticas.
- *Limo inorgánico:* con inclusión de polvo de rocas producido en canteras. En este tipo se encuentra el loess pampeano: limo fino sin estratificación.

Los limos orgánicos son nocivos durante la reacción química del cemento con el agua. No obstante, será necesario limo inorgánico junto con arena para conformar la estructura y soporte de los bloques de tierra comprimida.

### 3.2.2. Cemento

El cemento es un conglomerante conformado por una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es conocida como clinker, al adicionar yeso la mezcla se convierte en cemento, esto debido a que el yeso le da la propiedad de fraguado y endurecimiento. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada concreto.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos [33]:

1. *De origen arcilloso*: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
2. *De origen puzolánico*: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico

Elementos, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Los efectos del cemento en el suelo son [23, 27]:

- disminuye el peso específico seco
- aumenta la resistencia a la compresión
- disminuye la sensibilidad a la acción del agua
- disminuye la retracción por secado
- aumenta la resistencia a la erosión

La cantidad de cemento a agregar dependerá del tipo de suelo disponible. En general se trabaja con un porcentaje del 8% al 12% en peso. Las dosificaciones recomendadas son las de 1 a 8 y 1 a 9. No se emplearán contenidos de cemento inferiores a 5% en peso [23].

### 3.2.3. Agua

El agua es el agente que permite que se generen las reacciones químicas en los estabilizantes, así como también es el elemento que hace que la tierra adquiera plasticidad mediante su absorción por parte de la arcilla. Por todo esto es parte fundamental para producir un ladrillo suelo-cemento dado que se encarga de activar las propiedades de todos los demás componentes.

La cantidad de agua vertida en la mezcla debe asegurar una plasticidad suficiente evitando el exceso y el defecto, tanto dejando demasiado fluida la mezcla por un lado, provocando una disminución de la resistencia, o dejando disgregado el esqueleto por el otro, debido a una falta de cohesión entre las partículas. La humedad óptima del bloque de tierra es la que consiga una mayor densidad en el mismo [34].

Se puede conseguir el valor de esta humedad mediante ensayo de compactación de Proctor estándar según las normas peruana MTC<sup>7</sup> E116-2000 y americana ASTM<sup>8</sup> D-698, o mediante el pesado sucesivo de bloques, añadiendo o disminuyendo la cantidad de agua hasta alcanzar la máxima densidad [34].

Durante el curado de la pieza el agua hará que las reacciones químicas se produzcan en el interior de la pieza. Con el posterior secado a la sombra, el agua poco a poco desaparecerá y sus componentes habrán producido la máxima resistencia en cuanto a las posibilidades de esa combinación.

---

<sup>7</sup> MTC es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

<sup>8</sup> ASTM es la American Society for Testing Materials, Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales.

### 3.3. PRINCIPIOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE TIERRA

Se entiende por estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se pueda aprovechar mejor sus cualidades, corrigiendo una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

El principio en que se basa los bloques de tierra comprimida (BTC) es precisamente en la estabilidad de la tierra.

Los estabilizantes mejoran las propiedades físicas de los BTC, aumentan su resistencia, evitando la retracción durante el secado así y su erosión, además impiden el alojamiento de insectos y mejoran la resistencia a la corrosión del agua [35]. Cuando la tierra no posee las características adecuadas para la construcción, estas pueden alcanzarse precisamente con el uso de estabilizantes.

Estos son productos que interactúan con los elementos de la tierra mejorando sus características en los aspectos antes señalados.

Existen criterios para la elección de estabilizantes, para decidirse por un método adecuado de estabilización, se recomienda reunir suficiente información sobre estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios [18]:

- Disponibilidad regional: Se preferirán los productos cercanos.
- Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
- Evaluación económica.

A continuación se detalla los diferentes tipos de estabilización, agrupados según la acción que ejercen sobre la tierra, estos pueden ser estabilización física, química o mecánica.

### 3.3.1 Estabilización Química

Proceso en el cual se mejoran los enlaces existentes entre las partículas del suelo, se reducen la porosidad y permeabilidad del suelo, llamado también proceso por consolidación.

Además se mejoran las características mecánicas del material y disminuye su sensibilidad a la acción del agua: crecimiento y contracción, reducción de la calidad de cohesión, rigidez y erosión.

En este grupo tenemos principalmente la incorporación de la cal o el cemento a la mezcla, con la finalidad de producir un incremento de la resistencia a la compresión. Sin embargo la resistencia a la compresión puede verse afectada con la adición de estos, especialmente cuando su cantidad es menor al 5%.

Estudios previos, demuestran que esto se debe a que la cal y el cemento interfieren con la cohesión de los minerales de arcilla. Mientras mayor sea el contenido de arcilla mayor debe ser la cantidad de cal o cemento a adicionar. La cal da un mejor efecto de estabilización con suelos ricos en arcilla mientras que el cemento da mejores resultados con suelos arenosos [36].

La presencia del cemento crea entre las partículas más gruesas de los suelos (arenas y limos) enlaces mecánicamente resistentes aun cuando el material se encuentre posteriormente en presencia de agua, de esta manera es como conserva las características aportadas por la compactación [37].

Referente a la cal, se puede considerar que es uno de los mejores estabilizantes por consolidación, debido a que liga las partículas del suelo, aumentando su resistencia a los esfuerzos compresión y cortante; también disminuye la absorción del agua. La cal no modifica la porosidad, y la tierra no pierde su adherencia [11].

Se optó por el uso del cemento Portland Tipo I por dos razones, la primera por que el cemento es uno de los principales materiales de construcción y la segunda debido a que utilizar cementos de alta resistencia es contraindicado,

estos son más costosos y su empleo en la estabilización no representa mejoras considerables.

### 3.3.2 Estabilización Física

Este proceso consiste en mejorar la tierra, basándose en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad.

Las propiedades que se desean mejorar con este tipo de estabilización son la plasticidad y/o la granulometría; la primera afecta a la susceptibilidad del material al agua y su capacidad drenante; la segunda incide sobre su resistencia, trabajabilidad y compacidad final.

Algunos ejemplos de estabilizantes físicos más comúnmente empleados en los materiales de tierra son [18]:

a) Estabilización por compensación granulométrica:

Se realiza con la mezcla de suelos naturales, se puede utilizar limos para aportar cierta cohesión y arena para contrarrestar los efectos de un exceso de arcilla.

b) Estabilización por fibras:

Se crea un armazón interno, entre la tierra y fibra utilizada, pudiendo incrementar la resistencia a flexión y a cortante, y ayudando a evitar la retracción. Además mejora el secado y recorta los efectos de erosión.

La estabilización por compensación granulométrica, es conocida también como proceso homogéneo.

De esta manera, si la tierra es poco cohesiva se debe añadir, arcilla, y si es muy cohesiva, arena. Los materiales se incorporan en seco y deben ser semejantes al material por estabilizar [38].

La arcilla es un componente muy importante para la fabricación de las unidades por sus propiedades aglomerantes que mejoran su resistencia inicial y la trabajabilidad.

Por otro lado la estabilización por fibras, es llamada como estabilización por fricción, esta se basa en la adición de fibras naturales o sintéticas que proporcionan un incremento en la resistencia del material y controlan la contracción y fisuración mediante la adhesión de las fibras al material. Es importante recalcar que si las fibras son naturales, se las debe adicionar secas para evitar una futura descomposición.

Las fibras como estabilizantes impiden la aparición de fisuras y siguen actuando con el tiempo; también cumplen la función de articular la estructura y volverla flexible ante movimientos sísmicos.

### **3.3.3 Estabilización Mecánica**

Otra forma de estabilizar el material es mediante este proceso, la acción mecánica aumenta la compacidad del material. La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por medio de la compactación.

La compactación se puede definir como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de vacíos en la masa de suelo, de tal forma que sus partículas tienen mayor contacto entre sí, lo cual provoca un aumento en la densidad del material.

El resultado de la estabilización mecánica debe producir:

- Aumento de la resistencia al corte, para mejorar la estabilidad del suelo.
- Disminuir la compresibilidad para reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos para reducir la permeabilidad y así mismo el potencial de expansión, contracción o exposición por congelamiento

Los tres tipos de estabilización se usaron en la fabricación de los bloques de tierra comprimida, se usó la estabilización mecánica por medio de la compactación brindada por una máquina prensadora; estabilización química con la adición de cemento; y la estabilización física combinando diversos tipos de suelo (arcilla, arena, limos) en diversas cantidades.

Sin embargo se toma en cuenta la combinación de estos, ya que por una compactación o una granulometría inadecuada pueden volver totalmente ineficaz la adicción del cemento; la estabilización en este caso habrá sido totalmente inútil con la consiguiente degradación del material.



**Figura 3-1: Estabilización Física, mejoramiento de suelo a través de la combinación para cambiar sus propiedades**

### 3.4. DESARROLLO DE LA MÁQUINA PRENSADORA

La máquina prensadora para obtener ladrillos suelo – cemento, se basó principalmente en dos ideas: la generación de la fuerza a través de un mecanismo hidráulico y un bajo consumo energético.

Inicialmente se planteó una máquina más simple, basando la presión en un mecanismo de palanca.

Sin embargo, con el fin de controlar y obtener grandes presiones la tecnología hidráulica se introdujo a un nuevo modelo.

#### 3.4.1 Etapas del desarrollo

- Se construyó una primera máquina, que se basaba básicamente en proporcionar la presión mediante una palanca. No obstante, al probar este modelo se presentaron dos grandes inconvenientes; la más resaltante, la presión aplicada no era suficiente además no era posible de controlar ni medir.

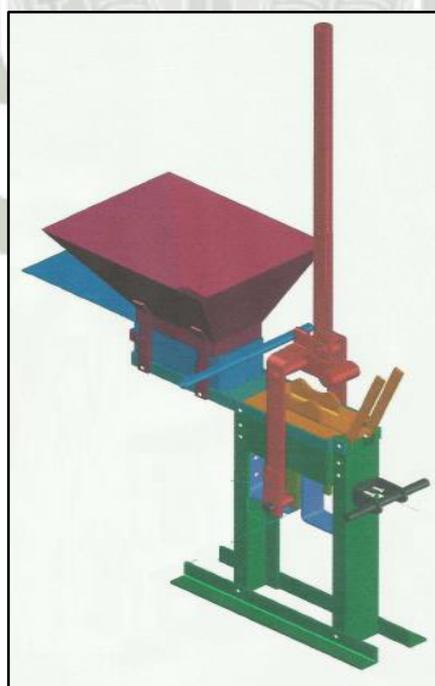


Figura 3-2: Máquina prensadora, esquema inicial

- A raíz de las carencias del primer modelo, se realizaron modificaciones, principalmente se cambió la fuente que generaba la presión, se reemplazó el mecanismo de palanca por un sistema hidráulico al cual se le acoplo un manómetro de silicona con la finalidad de controlar y medir la presión ejercida.
- Además en esta etapa se introdujeron otros cambios, como una manija en la tapa. Se probó su funcionamiento y se hicieron los ajustes necesarios

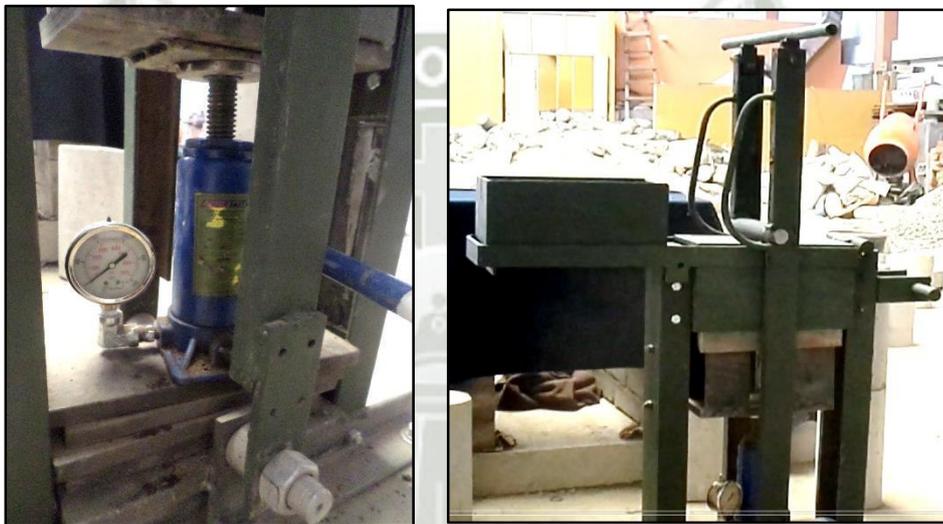


Figura 3-3: Modelo final de la maquina prensadora, con sistema hidráulico.

### 3.4.2 Componentes de la maquina prensadora

La máquina está compuesta por los siguientes elementos:

- Una base, en donde se inserta la gata hidráulica, encargada de ejercer la compresión sobre el material.
- Una caja-molde con cuatro patas y un soporte para la gata hidráulica.
- Una mesa de apoyo con bandeja para el suelo.

- Una tapa que soporta la compresión y luego de terminado el moldeo, pivota sobre un eje colocado en la base con el fin de dejar libre la caja para sacar el bloque.
- Un manómetro que indica la presión que se está ejerciendo sobre el bloque.
- Un gato hidráulico y su palanca para generar la fuerza

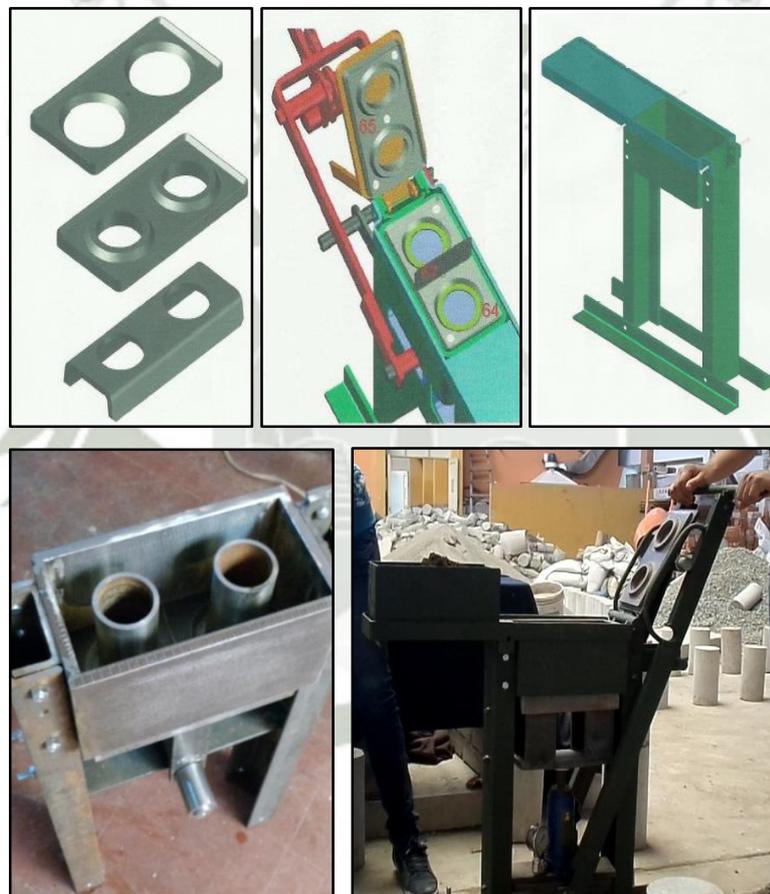


Figura 3-4: Ensamblado de la maquina prensadora hidráulica

### 3.4.3 Resultados de funcionamiento

La máquina prensadora funcionó correctamente en la fabricación de ladrillos suelo cemento, en todas sus etapas:

1. Cargado de la tierra.
2. Compresión del bloque.
3. Apertura de la tapa.
4. Expulsión del Bloque.
5. Retracción del fondo.



Figura 3-5: Mecanismo de funcionamiento de maquina prensadora

### 3.5. FABRICACIÓN DE LADRILLOS SUELOS – CEMENTO

El proceso de producción del ladrillo suelo-cemento se desarrolla de acuerdo a las siguientes fases:

*Identificación y preparación:* Se realiza un análisis y conocimiento de las propiedades físicas y químicas a través de ensayos de laboratorio o campo, acopio y secado de la tierra. El propósito de las pruebas es determinar cuanta arena y cuanta arcilla hay en el suelo que se va a usar. En la fase de preparación dependiendo de la tierra se realizará un cribado y triturado de la tierra.

*Mezclado:* Esta fase de producción se realiza en dos etapas, la mezcla seca, en la que se incorporan los demás componentes que conforman el ladrillo (arcillas, arenas, estabilizantes o colorantes) si estos son necesarios, y la mezcla húmeda, en la que se incorpora el agua en la cantidad adecuada y de manera homogénea siendo un factor decisivo para un adecuado prensado posterior.

Para poder establecer una cantidad de agua adecuada se realiza una prueba de campo, que consiste en formar una bola de suelo húmedo para después soltarla desde una altura aproximada de 1m sobre una superficie plana y dura. Cuando la bola se fractura en trozos grandes, es porque la humedad es la correcta. Si la bola no se fractura o se pulveriza, significa que la humedad es excesiva o la mezcla está muy seca, respectivamente. Cabe indicar que esta prueba se realiza en las construcciones de tapial.



Figura 3-6: Prueba en campo para regular el contenido de humedad de la mezcla.

*Prensado.* Operación principal en el proceso de fabricación de los ladrillos suelo-cemento, no obstante, la calidad final del bloque dependerá fundamentalmente de las fases anteriores. El rendimiento productivo viene determinado principalmente por la velocidad de trabajo de la prensa.



Figura 3-7: Prensado de tierra

*Curado y Secado.* Tiene una especial incidencia en la calidad final de los ladrillos, por lo que debe realizarse de manera controlada. En cualquier caso, se trata de evitar una evaporación de agua excesiva de manera muy brusca (por lo que hay que mantenerlos al abrigo del sol y del viento) ya que se producirían fisuras de retracción, lo que afectaría a la resistencia final de los ladrillos.



Figura 3-8: Curado y secado de los ladrillos suelo-cemento

## CAPITULO 4. MORTEROS DE PEGA



## CAPITULO 4. MORTEROS DE PEGA

### 4.1. DEFINICION Y CARACTERISTICAS

El mortero es toda mezcla compuesta por [39]:

- Materiales Conglomerantes, aglutinantes, ligantes que imparte plasticidad a la mezcla al ser aplicada, y por tanto permite su moldeado, así como elasticidad al endurecer, lo que confiere cohesión y resistencia mecánica al conjunto
- Materiales inertes o áridos generalmente arena de distinta composición y granulometría.
- Agua

Depende de la finalidad a la que este destinado el mortero se puede dividir según:

*a) Con una función estructural*

- Servir de unión y asentamiento para la mampostería ya sea en piedra, ladrillo o piezas de tierra.
- Servir de base para la construcción de muros, paredes, cubiertas, etc., armado en estructuras de ramas, palmas, maderas, etc.

*b) Con una función decorativa*

- Al constituir el material de revestimientos y estucados, que, además de una función estética, protegen a los elementos constructivos que recubren de la acción de la intemperie, lo que les ha valido para ser denominados la superficie de sacrificio o la piel de los edificios.

Los morteros de unión de mampostería tienen dos distintas e importantes juegos de propiedades:

- a) *Morteros en estado plástico*: determinan la adecuación de la construcción de mampostería.
- Trabajabilidad.
  - Flujo
  - Retención de agua y capacidad de retención de agua.
  - Características de endurecimiento.
- b) *Morteros en estado endurecido*: determinan la adecuación de la construcción de mampostería y a su vez están relacionada con las propiedades del concreto endurecido y por lo tanto con los elementos estructurales terminados.
- Adherencia
  - Extensibilidad y flujo plástico
  - Resistencia a la compresión
  - Durabilidad

## 4.2. TIPOS DE MORTEROS

Existen diversos tipos de morteros, en los que varían principalmente el aglutinante y en pocos casos los áridos, estos son:

### 4.2.1 Morteros de Cal o Calcáreos

En los cuales la cal interviene como aglomerante, existen dos tipos diferenciadas principalmente según el modo de fragua, en contacto con el aire (aérea) o en agua (hidráulica). Las cales aéreas de mayor uso son la cal blanca y la cal gris (dolomítica). Es recomendable usar arena cuyas partículas sean angulares y estén libres de materia orgánica, más que nada puesto que la arena tiene como principal objetivo el de evitar el agrietamiento por contracciones del mortero mientras este va perdiendo agua de amasado [40].

Morteros de cal y arena		
Proporción en volumen		Empleo preferente
Pasta de cal	Arena	
1	1	Enlucidos
1	2	Revoques
1	3	Muros de ladrillo
1	4	Muros de mampostería

Tabla 4-1: Usos para mortero de cal y arena

#### 4.2.2 Morteros de Yeso

Preparado con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según la calidad, cocción y finura del yeso molido.

Pasta de Yeso	Agua
Asentado	50%
Estuque	60%
Moldes	70%

Tabla 4-2: Cantidad de agua recomendable según uso de mortero de yeso

El mortero se prepara según se va necesitando puesto que comienza a fraguar a los 5 minutos y termina aproximadamente en un cuarto de hora.

Aunque este tipo de mortero inicialmente se usaba como material puro en el enlucido de superficies y como material ornamental; en la actualidad se utiliza como mortero de unión (ejemplo de material ornamental, azulejos, etc.) con la adición de cal para modificar los tiempos de fraguado y la dureza y resistencia mecánica del mortero.

### 4.2.3 Morteros de Cal y Cemento

Estos pueden clasificar según sus proporciones o por sus propiedades [41]:

- a) *Especificación por proporciones:* se basa en el conocimiento de los pesos unitarios de los materiales de la mezcla.

Tipo de Mortero	Cemento Portland	Cal Viva.	Proporción de agregado
M	1	0.25	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	1	0.25 - 0.50	
N	1	0.50 - 1.25	
O	1	1.25 - 2.50	

Tabla 4-3: Especificación de mortero de cal y cemento por proporciones

- b) *Especificación por propiedades:* adquiere sentido para efectos de diseño en laboratorio, mas no para morteros mezclados en obra.

Tipo de Mortero	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo %	Proporción de agregado
M	175	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	125	75	12	
N	50	75	14	
O	25	75	14	

Tabla 4-4: Especificación de mortero de cal y cemento por propiedades

#### Mortero tipo “M”

- Es un mortero de alta resistencia a la compresión
- Brinda mayor durabilidad en comparación de otros tipos de morteros
- Uso destinado a mampostería sometida a grandes fuerzas de compresión acompañadas de congelamiento, grandes cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
- Se recomienda su uso en estructuras en contacto con el suelo, cimentaciones muros de contención, etc.

#### Mortero tipo “S”

- Posee mayor adherencia que otros morteros.
- Uso estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que a la vez requieran alta adherencia.
- Debe usarse en casos donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como el revestimiento de cerámicos.

#### Mortero tipo “N”

- Es un mortero de propósito general y es usado en estructuras sobre el nivel del suelo.
- Es bueno en enchapes, paredes divisorias e internas.
- Representa la mejor combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía.
- Alcanza cerca de 125 Kg/cm<sup>2</sup> como resistencia a la compresión<sup>9</sup>

#### Mortero tipo “O”

- Son morteros de baja resistencia y alto contenido de cal.
- Son usados en construcción de viviendas de uno o dos pisos.
- Es preferido por los albañiles por su alta trabajabilidad y bajo costo.

---

<sup>9</sup> Debe tenerse en cuenta que la mano de obra y los elementos de albañilería afectan esta resistencia.

#### 4.2.4 Morteros de Cemento

En los morteros de cemento son de altas resistencias así como en el concreto, es por esto que las características de la arena (granulometría, módulo de fineza, textura, forma y contenido de material orgánica) son factores importantes en la calidad del mortero.

Las condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a las proporciones de cemento-arena. Su preparación debe ser tal que exista el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación.

Tipo de Mortero	Cemento	Arena	Empleo preferente	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
Ricos	1	1	Bruñidos y revoques impermeables.	160
	1	2	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas	
	1	3	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento.	
Ordinarios	1	4	Bóvedas de escalera, estuques finos.	130
	1	5	Muros sin carga, estuques exteriores	98
Pobres	1	7	Muros sin carga, estuques interiores.	50
	1	10	Rellenos para solado.	30

Tabla 4-5: Proporción, usos y resistencia de morteros de cemento [42]

#### 4.2.5 Morteros de Suelo y Cemento

En la dosificación de los dos primeros resultados no existe ningún problema, ya que sus cantidades necesarias para la conformación del Concreto o Mortero, ya han sido calculadas y tabuladas, por las normas de seguridad en cuanto a construcción de edificaciones se refiere, pero cuando se trata de utilizar tierra común, requiere de pruebas experimentales previa a su utilización, debido a la

gran diversidad de componentes dentro de estas, así como su variación de un lugar a otro, como por ejemplo las cantidades de arena y arcilla contenida, desechos vegetales y otros elementos inertes que influyen severamente en el resultado final de una mezcla con cemento y para ello lo más lógico sería hacerle pruebas de laboratorio [43].

Los suelos representativos fueron clasificados, según el sistema de clasificación AASHTO como se muestra en la siguiente tabla [44].

Tipo de Suelo	Clasificación	Observaciones
A	A-1-a	Suelo gravoso-arenoso con pequeñas cantidades de limo ( $\leq 15\%$ )
B	A-1-b	Suelo gravoso-arenoso con pequeñas cantidades de limo ( $\leq 25\%$ )
C	A-4	Suelo que presenta gravas y arenas, pero con alto contenido de limos ( $>35\%$ )

Tabla 4-6: Tipos de suelos considerados para la fabricación de mortero según clasificación de suelos AASHTO<sup>10</sup>

Tipos de Suelo	Dosificación C + S	Relación a/c	Resistencia compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	1:5	1.39	80
	1:7	1.82	40
	1:9	2.15	35
B	1:5	1.47	75
	1:7	1.97	50
	1:9	2.31	30
C	1:5	1.61	50
	1:7	2.12	35
	1:9	2.55	30

Tabla 4-7: Proporción y resistencia de morteros de cemento para diferentes tipos de suelos.

<sup>10</sup> La Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes o AASHTO (con sus siglas en inglés)

## CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA



## CAPITULO 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 5.1. MATERIALES

Los materiales que componen la fabricación de los ladrillos suelo-cemento están conformados por tierra, compuesta esencialmente de arena, limo y arcilla, y estabilizante, en nuestro caso será Cemento Portland IP Yura. Toda esta mezcla unida con agua para obtener una amalgama.

#### 5.1.1 Tierra

Para la realización de este trabajo experimental se ha utilizado un suelo arcilloso de las localidades de Yarabamba, tierra limosa proveniente de Pocsi, arena ceniza traída de Yarabamba y arena gruesa de la cantera de la Poderosa. Tierras con diferentes componentes y propiedades que al unirlos podrán formar diversas combinaciones simulando artificialmente distintos tipos de suelo para la fabricación de estos ladrillos. Siempre cumpliendo las condiciones planteadas en el *ítem 3.2.1 Tierra*.

En el caso de los diferentes tipos de suelos se han realizado los oportunos ensayos físico-químicos para su correcta caracterización.

#### a) Para todos los Suelos en general.

- MTC E 107 - 2000 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado
- MTC E 108 - 2000 Método de Ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

#### b) Para los suelos con alto contenido de material Fino

- MTC E 109 - 2000 Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro
- MTC E 110 - 2000 Determinación del Límite Líquido de los Suelos.
- MTC E 111 - 2000 Determinación del Límite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (I.P.).

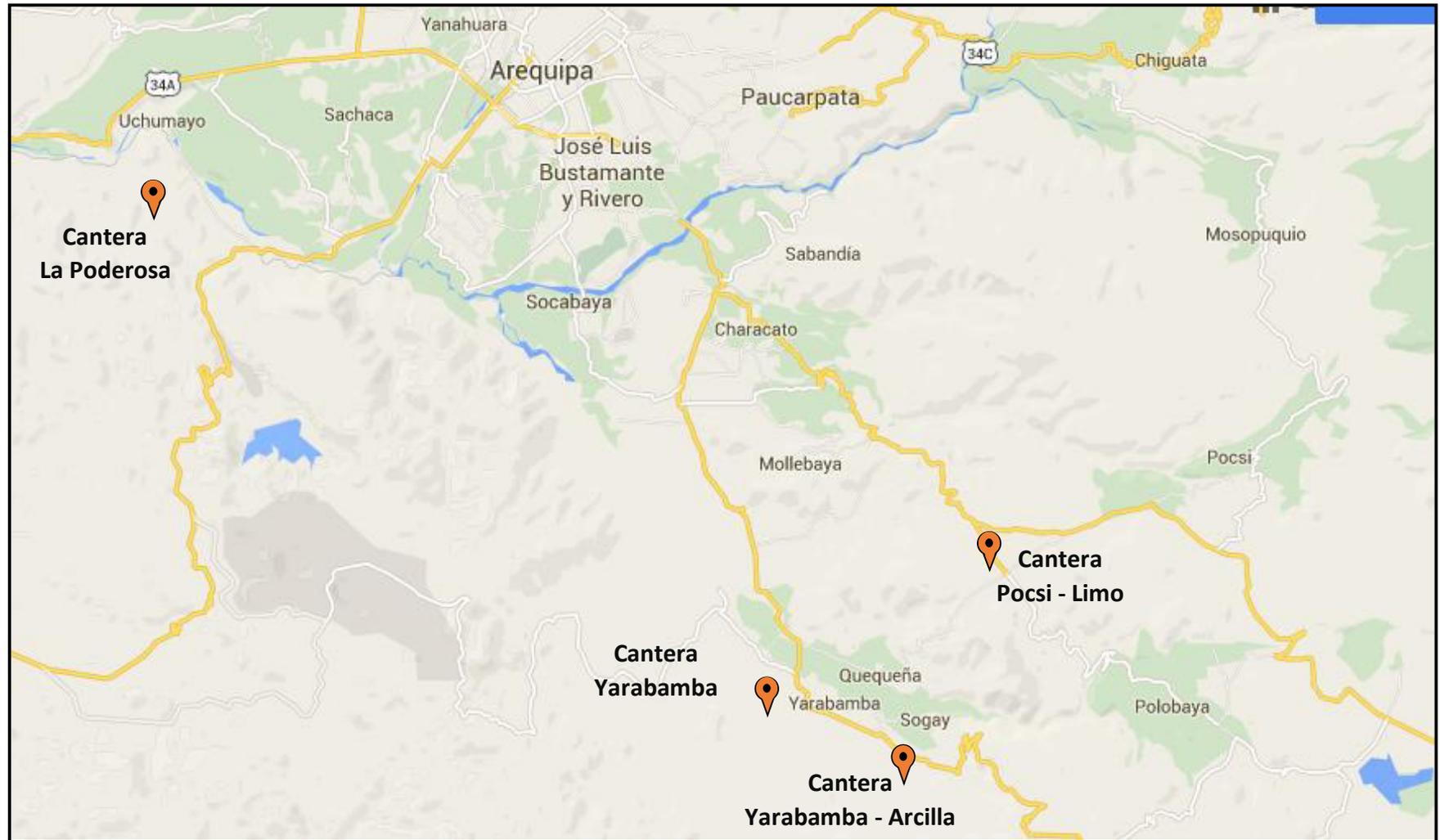


Figura 5-1: Plano de ubicación de las canteras de los diferentes tipos de suelo usados en la elaboración de los ladrillos suelo – cemento.  
Fuente: Google maps®.

### 5.1.1.1 Suelo Arcilloso de Yarabamba

El suelo empleado es una muestra de la tierra arcillosa procedente de las canteras de Yarabamba del distrito de Yarabamba (Arequipa). Se ha considerado representativo del conjunto de suelos arcillosos de Arequipa



Figura 5-2: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de arcilla en Yarabamba



Figura 5-3: Tierra arcillosa de la cantera

Están formados por granos finos de color amarillo y ocre. Este tipo de suelos se caracteriza por poseer una elevada plasticidad, además de una degradación muy alta en contacto con el agua, suele ser suelos muy compactos, incluso cuando el suelo se seca, la textura fina de sus partículas hace que se unan o formen terrones. Esto hace que sea muy difícil de trabajar, por lo que la extracción se realizó con maquinaria.

Se realizó análisis granulométrico del suelo por tamizado con lavado, debido a que el 68.7% de la muestra que es material fino pasante de la malla #200 se complementó con el análisis granulométrico por sedimentación mediante el hidrómetro. Para esto se obtuvo su gravedad específica: 2.42gr/cm<sup>3</sup>.

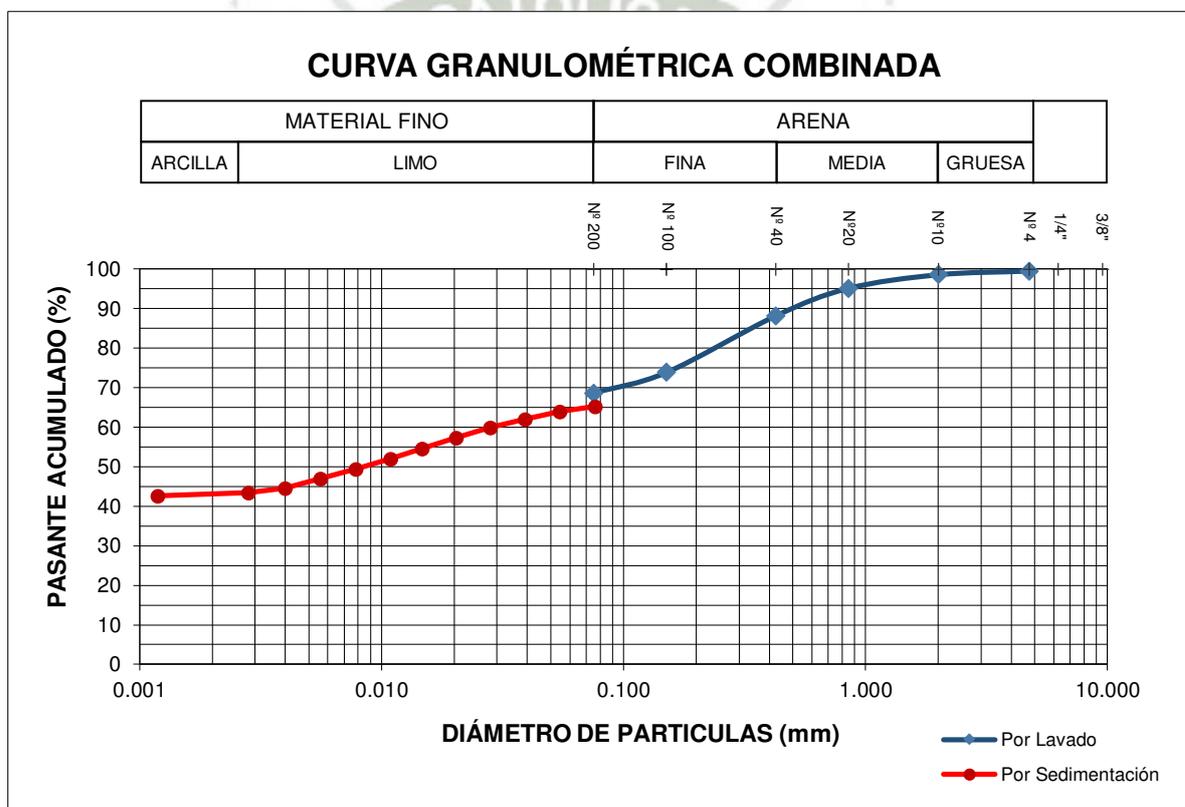


Gráfico 5-1: Curva granulométrica combinada de la tierra arcillosa

A través de su granulometría, podemos ver que el 43.42% del total de la muestra corresponde a arcilla.

Realizando los límites de Atterberg se obtuvieron como resultados:

- límite plástico (LP) de 20.59%
- límite líquido (LL) de 63,68%
- índice de plasticidad (IP) es 43.09%.

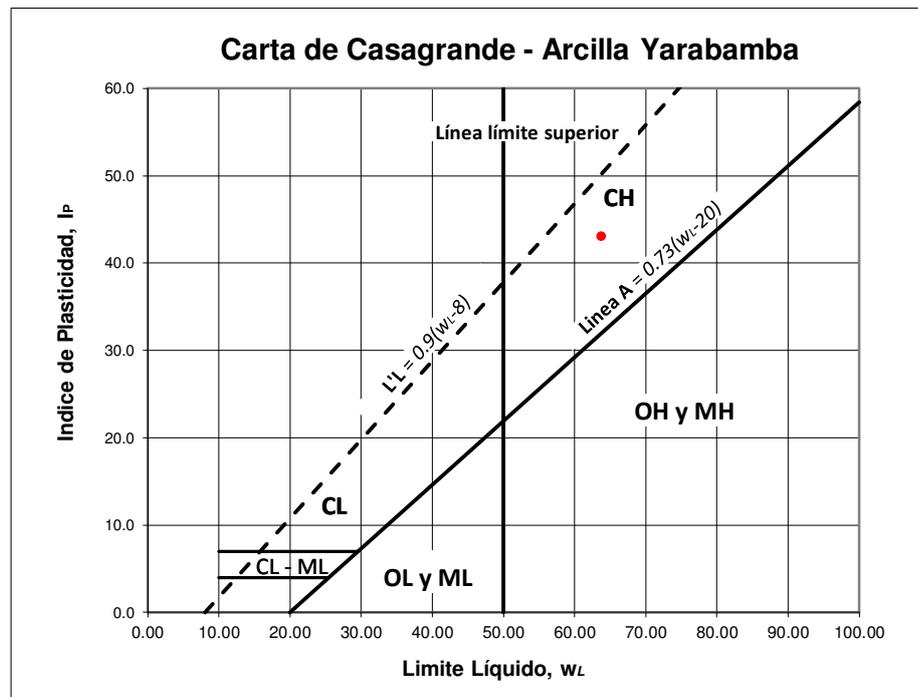


Gráfico 5-2: Carta de Casagrande del suelo de Yarabamba

Con lo que según el sistema de clasificación de Casagrande, este suelo corresponde a la clase CH. Se trata de un suelo arcilloso de alta plasticidad.



Figura 5-4: Tierra de Yarabamba presenta en forma de terrones, y luego de triturarse y tamizarse por la malla #4

### 5.1.1.2 Suelo Limoso de Pocsi

El suelo empleado es una muestra de la tierra limosa procedente de las canteras de Pocsi del distrito de Pocsi (Arequipa).

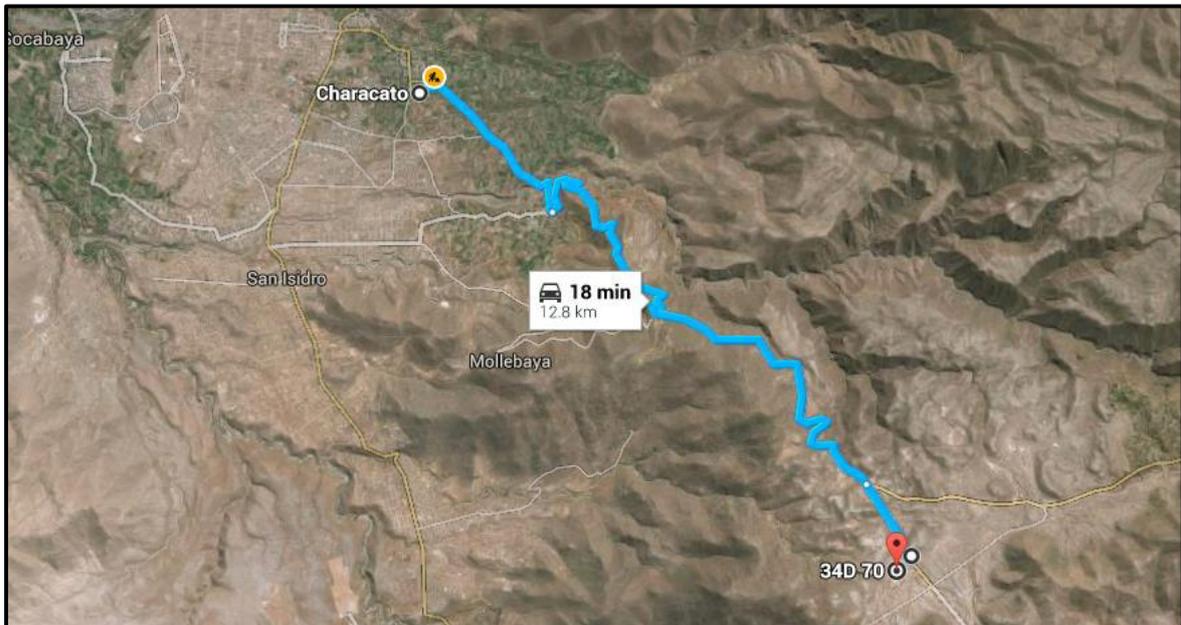


Figura 5-5: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de suelo limoso.



Figura 5-6: Cantera de Pocsi y maquinaria pesada que usan para la extracción de limos.

Están formados por granos finos de color plumizo. Es un material que se meteoriza rápidamente en contacto con el medio ambiente, Este tipo de suelos se caracteriza por carecer de plasticidad.

Se realizó análisis granulométrico del suelo por tamizado con lavado y por sedimentación mediante el hidrómetro, esto debido a que el 52.31% de la muestra es material fino pasante de la malla #200, para el ensayo se necesitó su gravedad específica de 2.52gr/cm<sup>3</sup>.

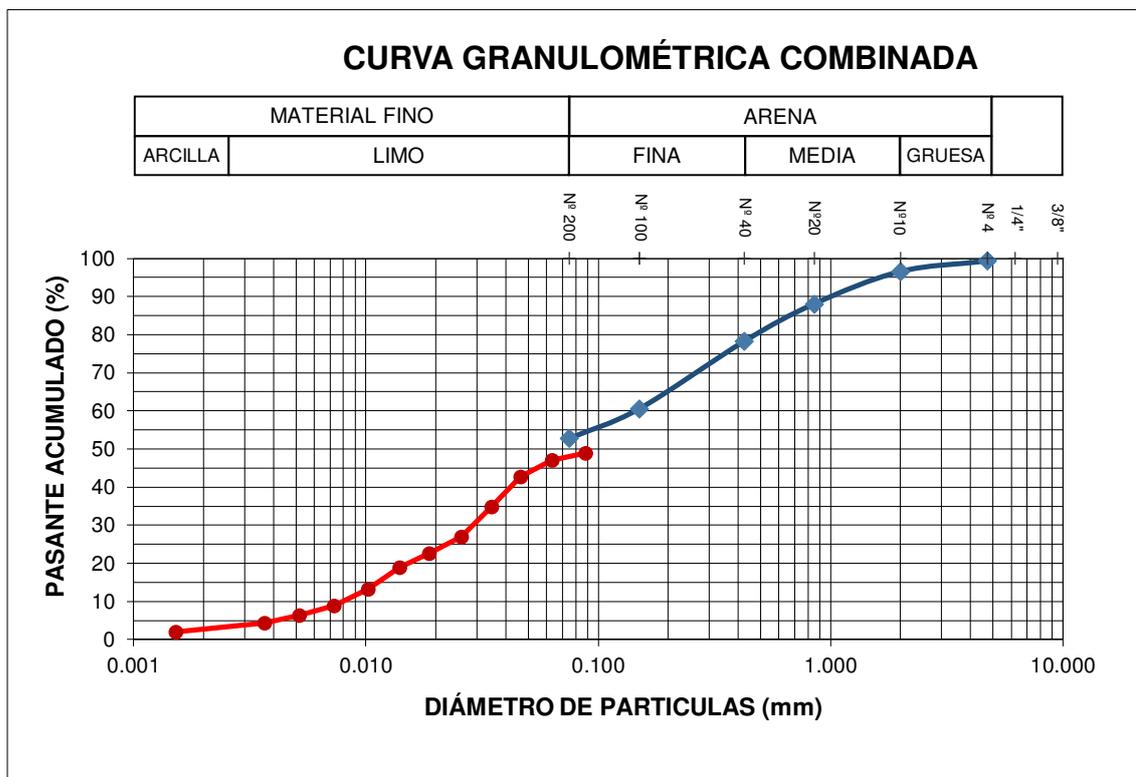


Gráfico 5-3: Curva granulométrica combinada de la tierra limosa

A través de su granulometría, podemos ver que el 45.09% del total de la muestra corresponde a limos



Figura 5-7: Tierra limosa tamizada por la malla #4

Realizando los límites de Atterberg se obtuvieron como resultados:

- límite plástico (LP) de 23.58%
- límite líquido (LL) de 28.39%
- índice de plasticidad (IP) es 4.81%

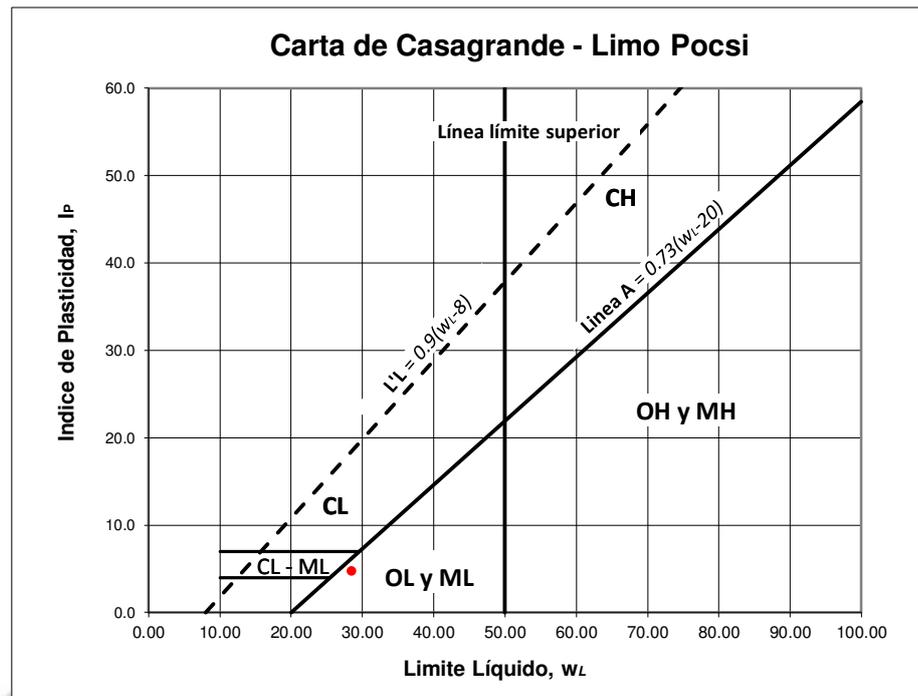


Gráfico 5-4: Carta de Casagrande del suelo de Pocsí.

El límite líquido está comprendido entre los valores de  $0\% < 23.58\% < 35\%$ , por lo que se cataloga con baja plasticidad, Con lo que según el sistema de clasificación de Casagrande, este suelo corresponde a la clase ML. Se trata pues de un suelo limoso de baja plasticidad.

### 5.1.1.3 Suelo Arena – Ceniza de Yarabamba

El suelo empleado es una muestra de arena y ceniza volcánica procedente de las canteras de Yarabamba ubicada en el distrito de Yarabamba (Arequipa).

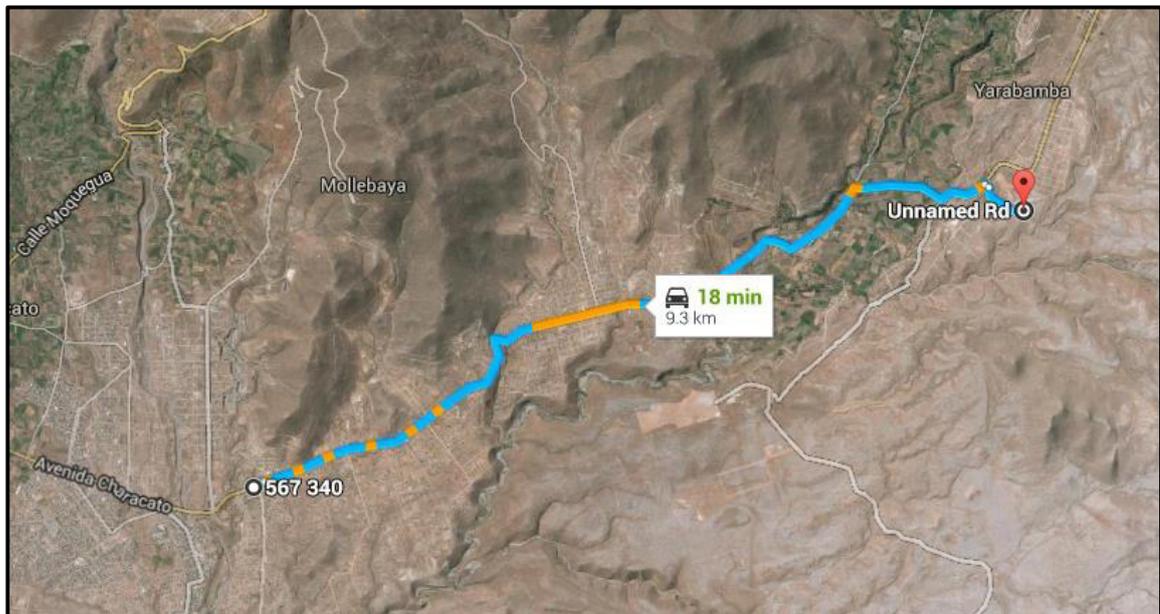


Figura 5-8: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de arena-ceniza en Yarabamba.



Figura 5-9: Cantera de Arena ceniza y material tamizado por la malla #4

Están formados por granos de arena fina de color blanco plomizo. Es un suelo de apariencia uniforme, propenso a la erosión por el agua y el viento, se caracteriza por su alta porosidad y permeabilidad además de tener una contextura áspera.

Se realizó análisis granulométrico del suelo por tamizado. Se puede apreciar que en las mallas #20 (0.85mm) y #60 (0.25mm) se retiene cerca del 80% del total de la muestra.

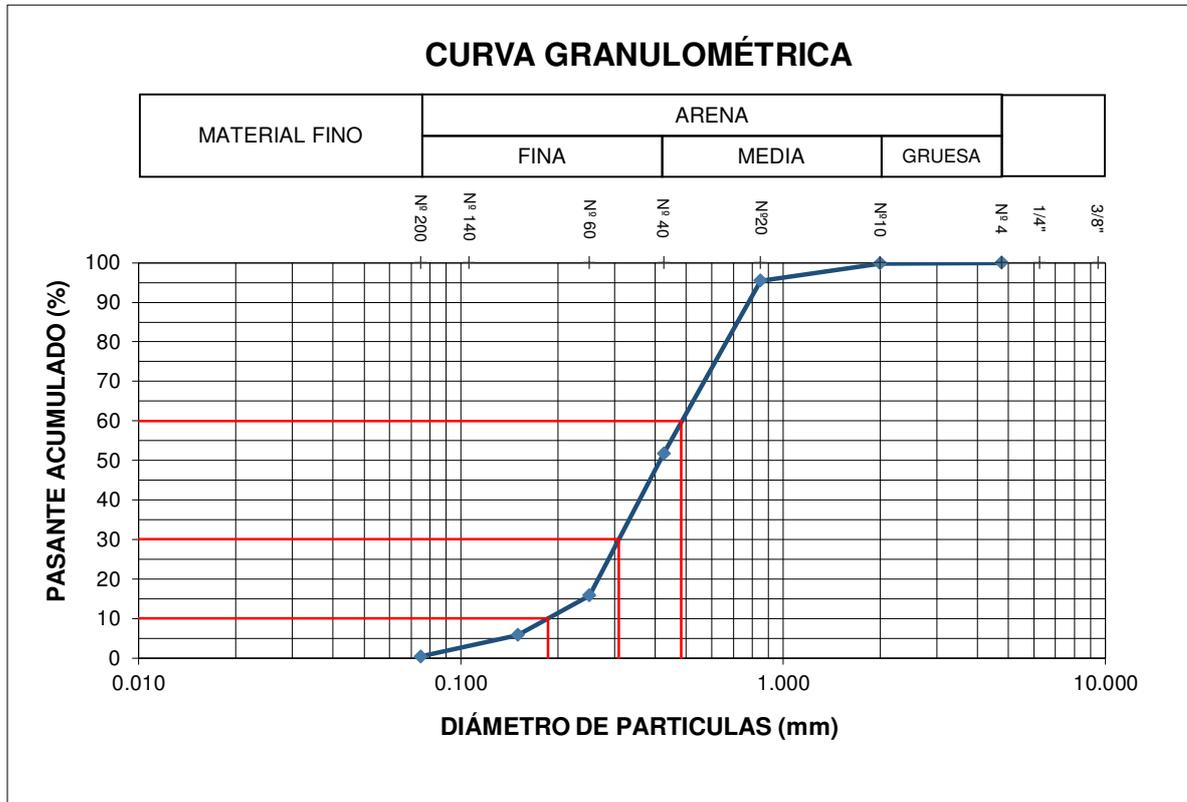


Gráfico 5-5: Curva granulométrica de la arena-ceniza de la cantera de Yarabamba.

DECILES	
D10	0.19
D30	0.31
D60	0.48

- coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) es de 2.59
- coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) de 1.06

Clasificándose como pobremente graduado. Este suelo corresponde la clase SP. Se trata pues de una arena pobremente graduada.

#### 5.1.1.4 Material Arenoso de la Poderosa

El material empleado es una muestra de agregado fino procedente de la chancadora de la “Poderosa” ubicada en el distrito de Uchumayo (Arequipa).



Figura 5-10: Plano de ubicación y camino tomado para la chancadora de agregado “La Poderosa”.



Figura 5-11: Cantera “La Poderosa” y muestra de la arena gruesa

Está conformado por granos de arena gruesa de color plomo intenso provenientes del chancado de grandes rocas, tamizado luego por la malla #4.

Se realizó análisis granulométrico del agregado por tamizado

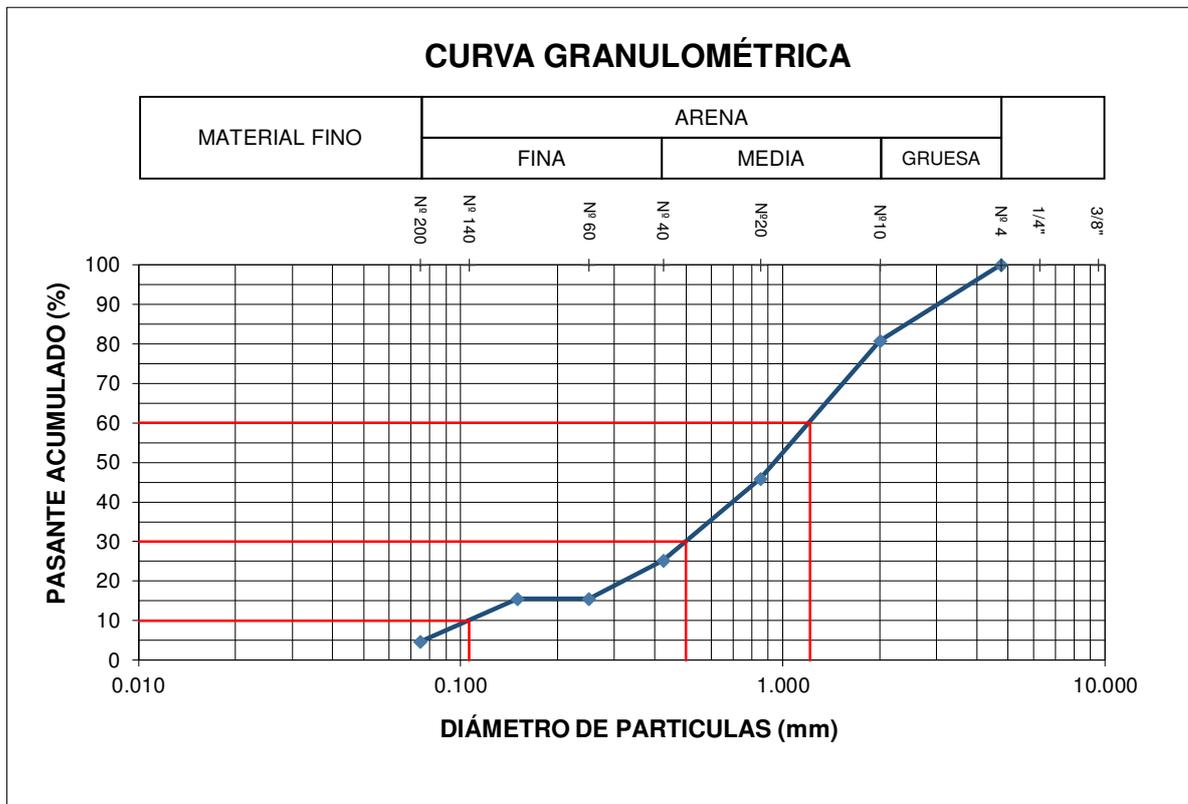


Gráfico 5-6: Curva granulométrica de la arena de la cantera de "La Poderosa".

DECILES	
D10	0.11
D30	0.50
D60	1.21

- coeficiente de uniformidad (Cu) es de 11.44
- coeficiente de curvatura (Cc) de 1.95

Además, su porcentaje pasante de la malla #200 es de 4.65% < 5% de contenido de partículas finas máxima, clasificando como bien graduado. Este suelo corresponde la clase SW. Se trata de una arena bien graduada.

## 5.2. METODOLOGIA

La campaña diseñada para este proyecto queda dividida en tres fases de experimentación en laboratorio con el fin de elegir las combinaciones óptimas hasta llegar al ladrillo definitivo. Todas las combinaciones propuestas, de cada una de las tres fases planteadas, se elaboraron a un nivel relativamente bajo de compactación, 4500 Lb/in<sup>2</sup> en la gata, resultando una presión en los ladrillos de 8.35kgf/cm<sup>2</sup>. Además, todos los diseños se realizaron con un estabilizante tan estudiado como el cemento para tener una comparativa de referencia.

Teniendo en cuenta el producto que se propone, se decidió la utilización de 4 tipos diferentes de suelo, tanto en composición como en propiedades para que en diferentes proporciones simulen suelos con distintas características, no obstante, no fue posible elaborar directamente el ladrillo suelo-cemento deseado ya que se contaba con referencias bibliográficas muy variadas en cuanto a la composición que sugerían (% arena, % arcilla y % de limos), por lo que se propuso realizar cada una de ellas y sus variantes con el fin de encontrar el mejor resultado. El criterio usado para el proceso de selección entre fases fue principalmente la resistencia a la compresión tras 7 días de curado.

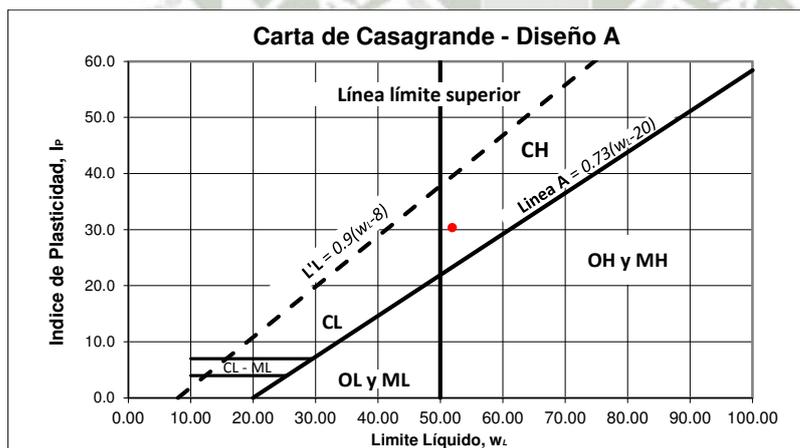
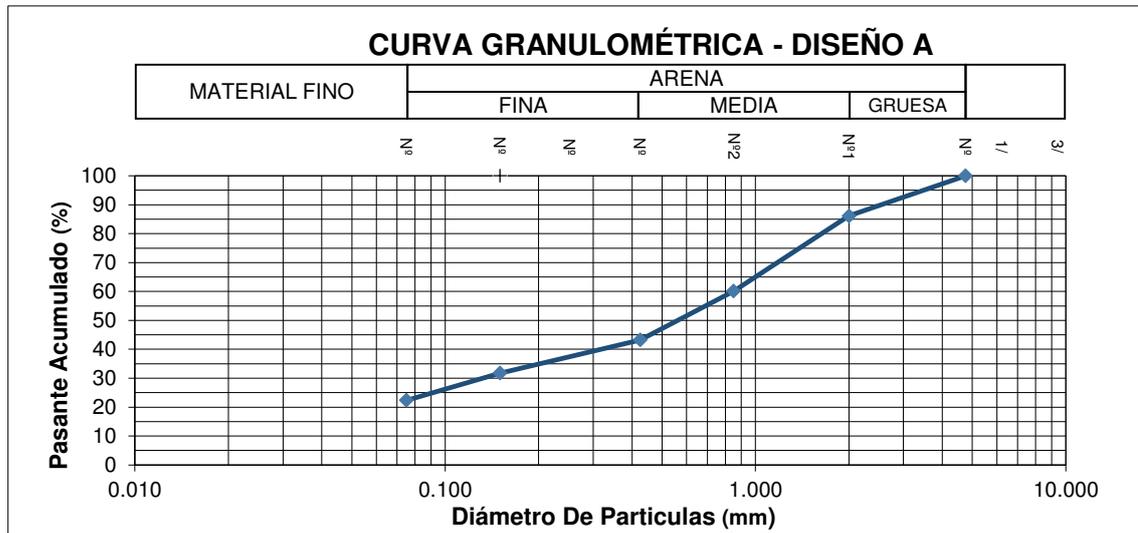
En la fase inicial, el objetivo principal era recopilar toda la información sobre investigaciones de este tipo, determinar la densidad seca máxima de compactación y la presión de compactación ideal de cada combinación propuesta. Para esto se elaboraron 15 diseños nombrados cada uno según una letra del alfabeto (A-O). Todas las combinaciones propuestas, de esta fase se elaboraron con un porcentaje de cemento del 10%

En la fase II, se seleccionaron las siete combinaciones de la fase anterior. No obstante, conforme se fue analizando los resultados se evidenció que el contenido de cemento que se propuso inicialmente era excesivo, por lo que en esta fase se disminuyó su contenido al 8%, no sólo por razones económicas sino también medio ambientales.

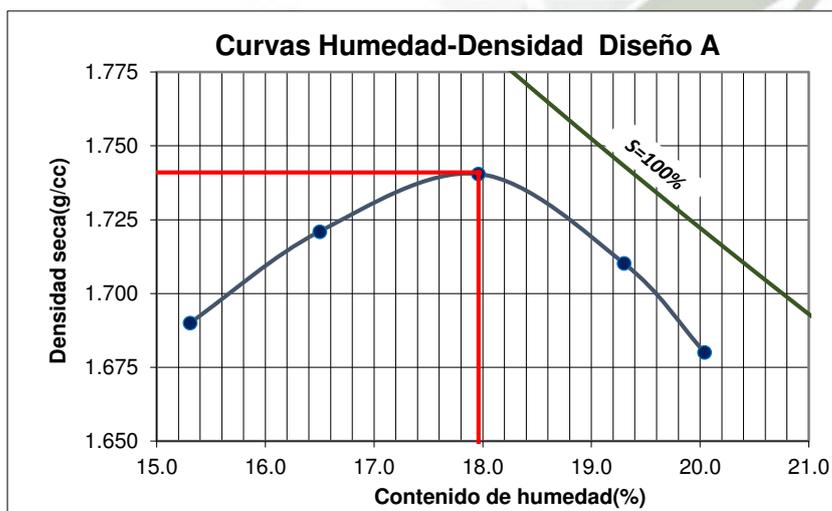
En la última y tercera fase de la investigación, luego de seleccionar los 3 diseños definitivos, se realizó una producción de ladrillos en cantidad para realizar los ensayos de laboratorio de unidades y prismas de albañilería según protocolos normalizados para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas.

### 5.3. COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS

#### DISEÑO A: ARENA ARCILLOSA



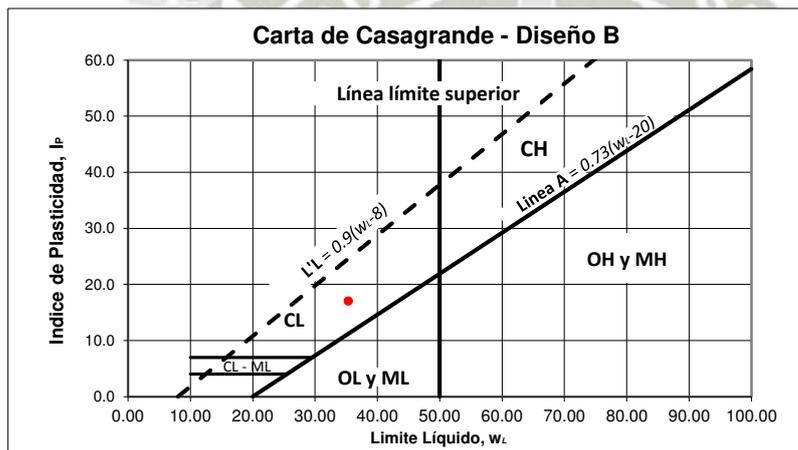
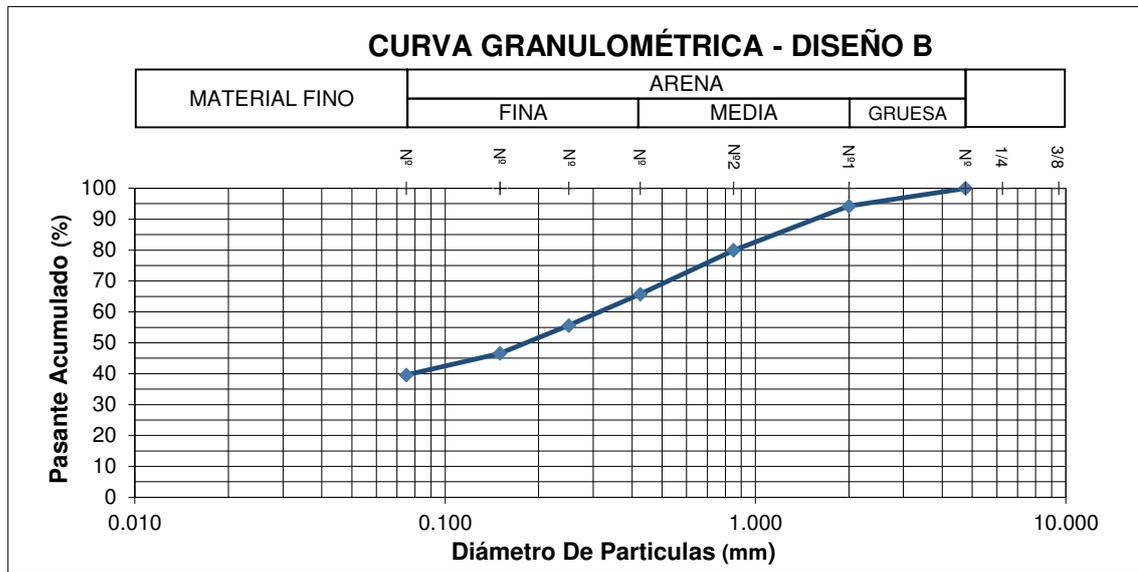
CLASIFICACION DE FINOS		ARCILLA ALTA PLASTICIDAD
LL	51.92%	
Lp	21.58%	
Ip	30.33	



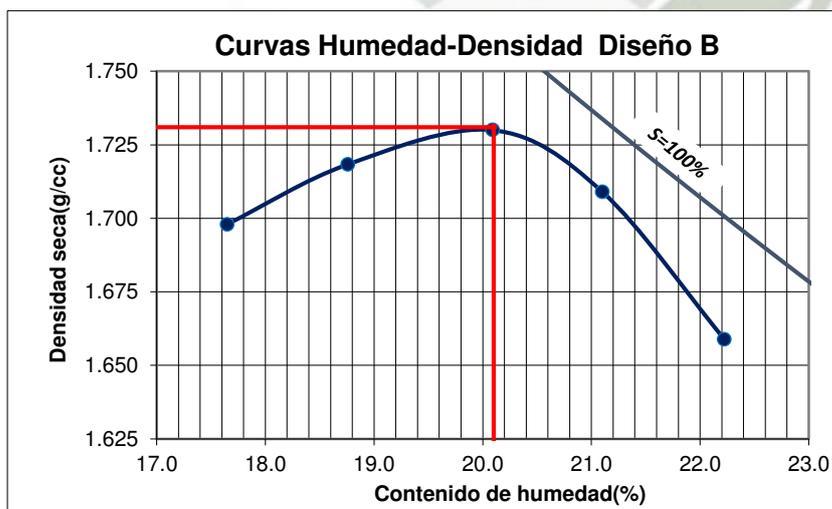
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
17.96%	1.74 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-7: Diseño A. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO B: ARENA ARCILLOSA



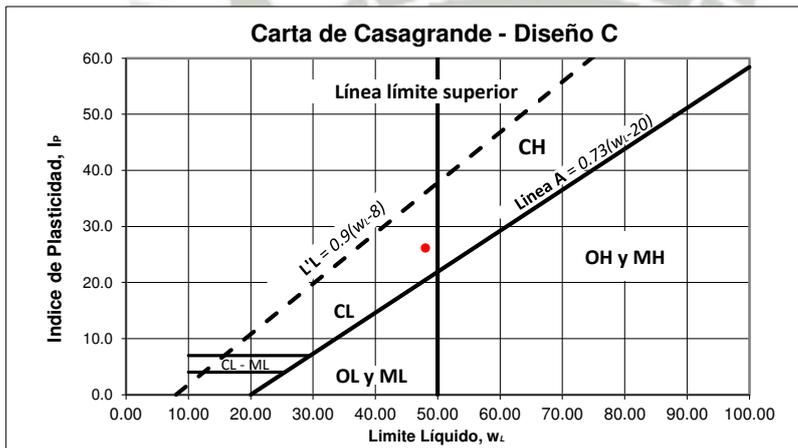
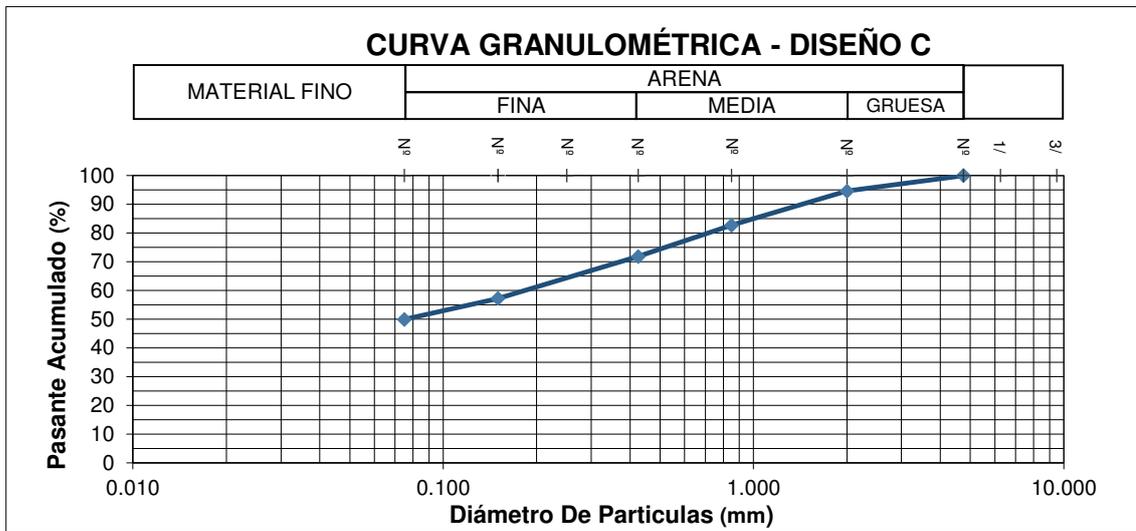
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	35.36%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	18.37%	
Ip	16.99	



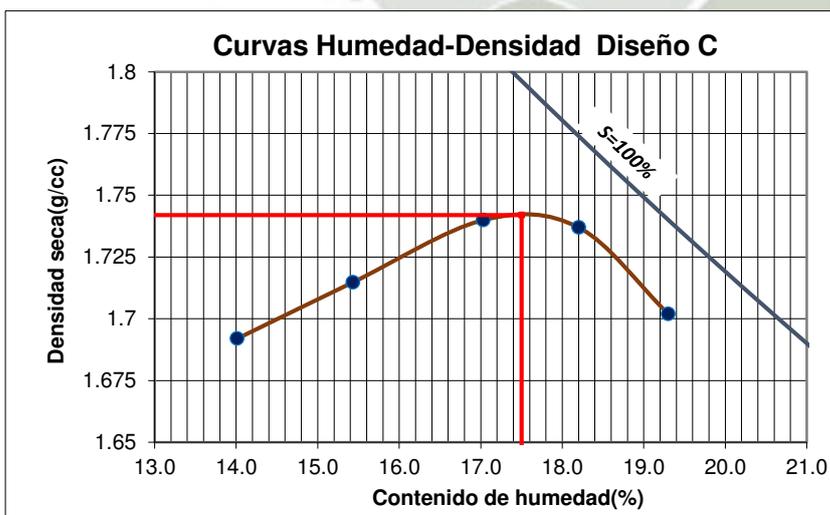
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
20.10%	1.73 g/cm3

Gráfico 5-8: Diseño B. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO C: ARENA ARCILLOSA



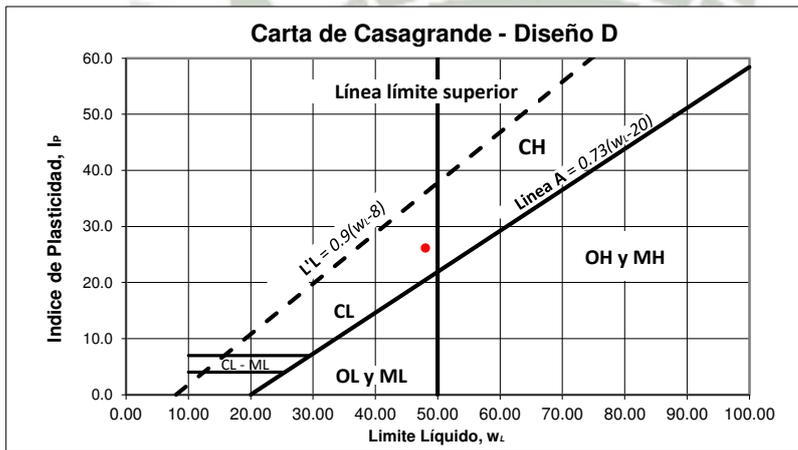
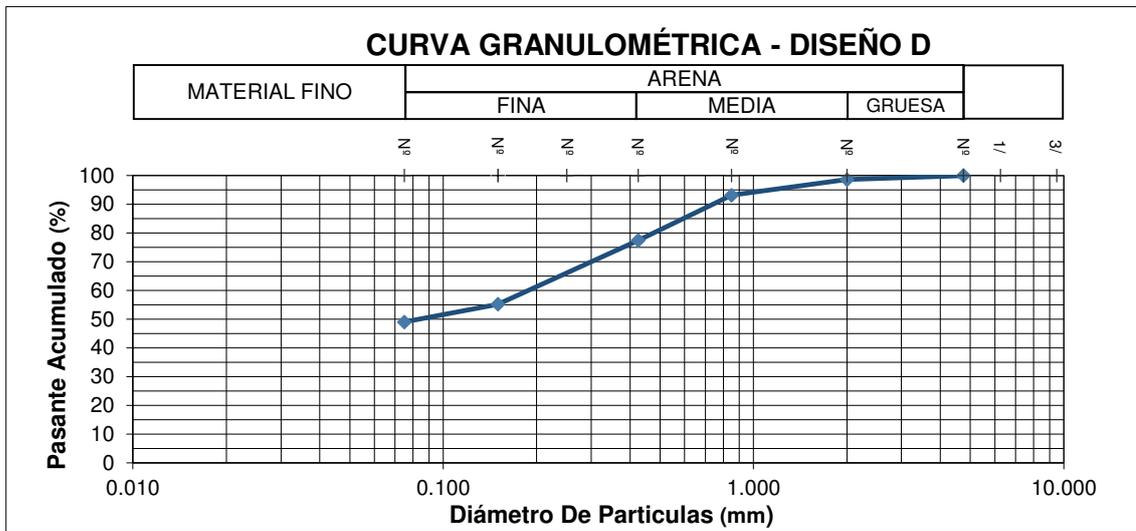
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	48.04%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	21.91%	
Ip	26.13	



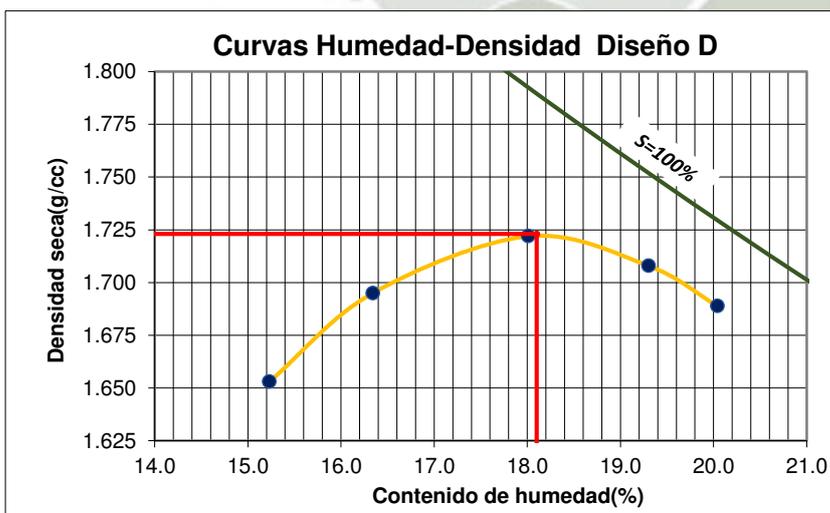
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
17.50%	1.74 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-9: Diseño C. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO D: ARENA ARCILLOSA



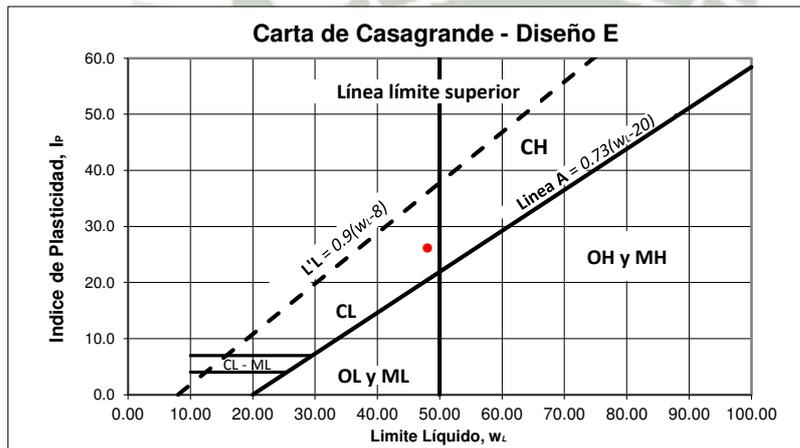
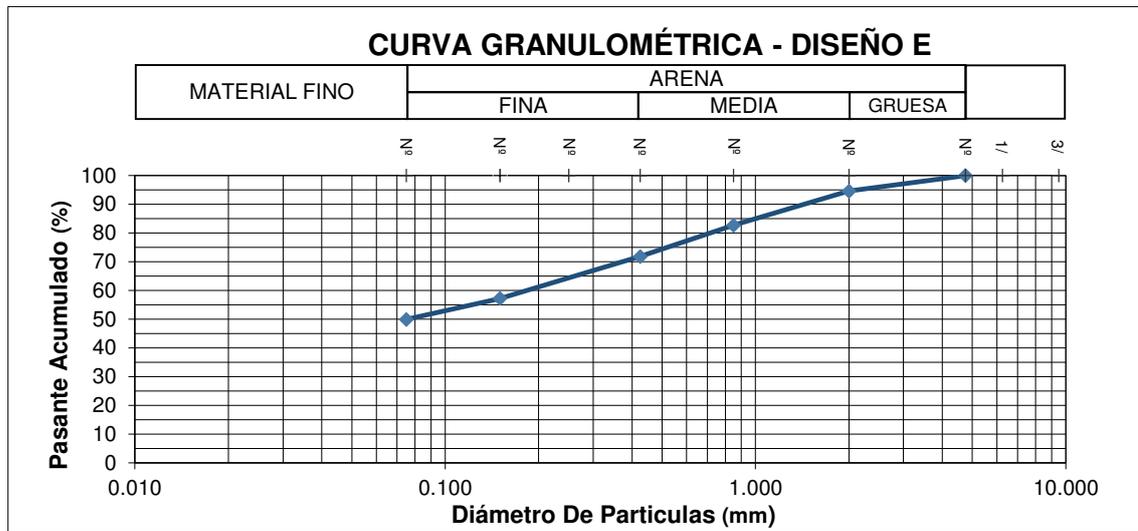
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	48.04%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	21.91%	
Ip	26.13	



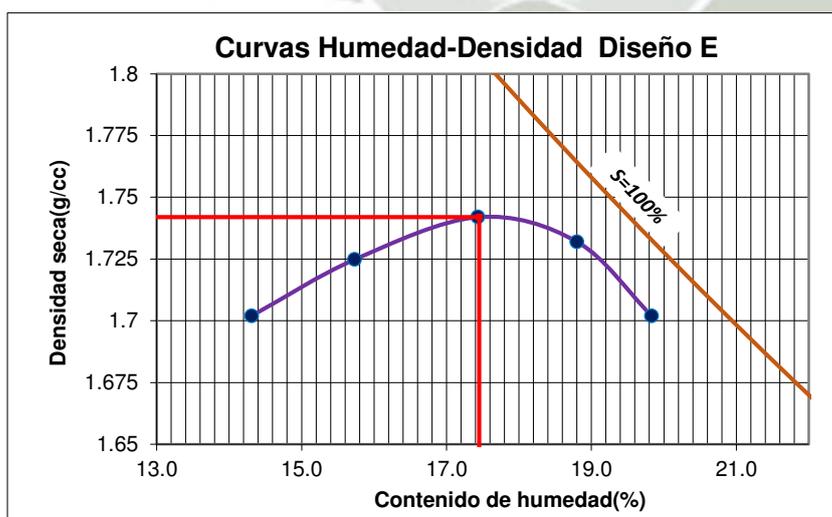
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
18.10%	1.72 g/cm3

Gráfico 5-10: Diseño D. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO E: ARENA ARCILLOSA



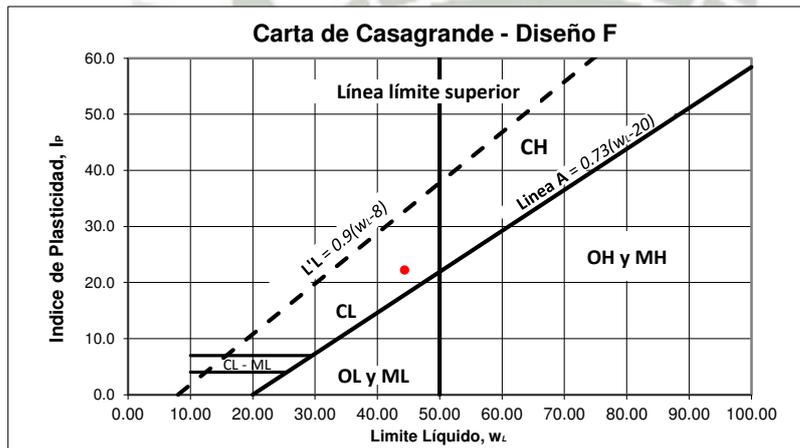
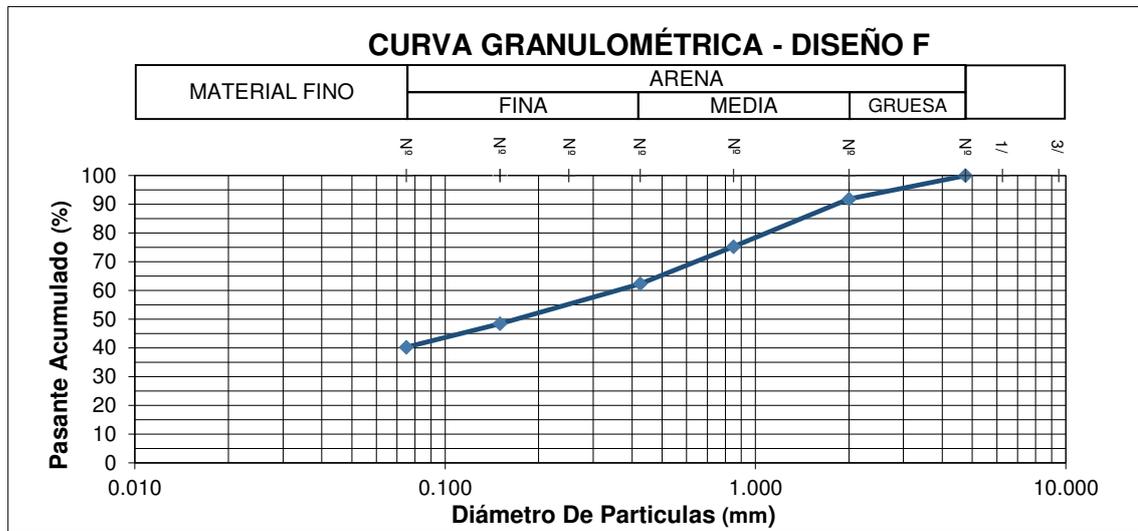
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	48.04%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	21.91%	
Ip	26.13	



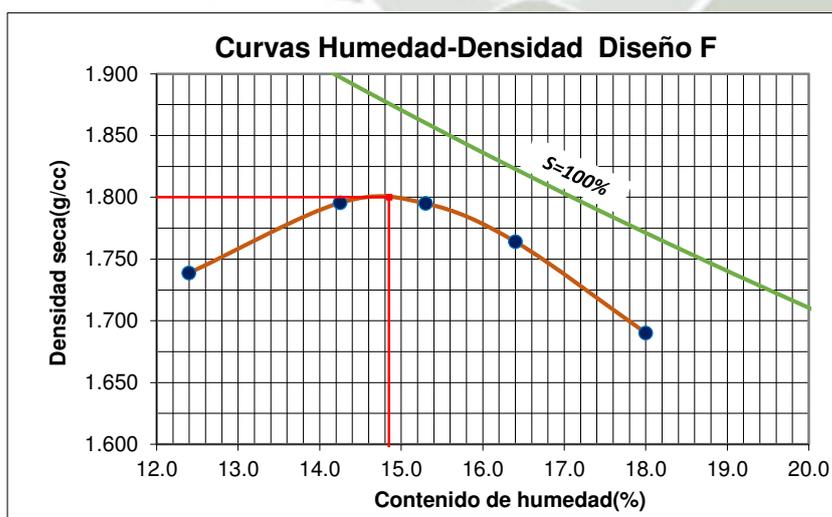
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
17.45%	1.74 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-11: Diseño E. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO F: ARENA ARCILLOSA



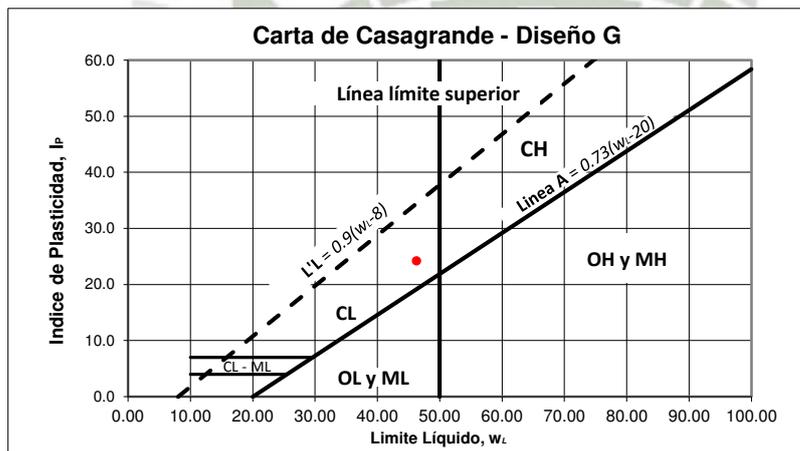
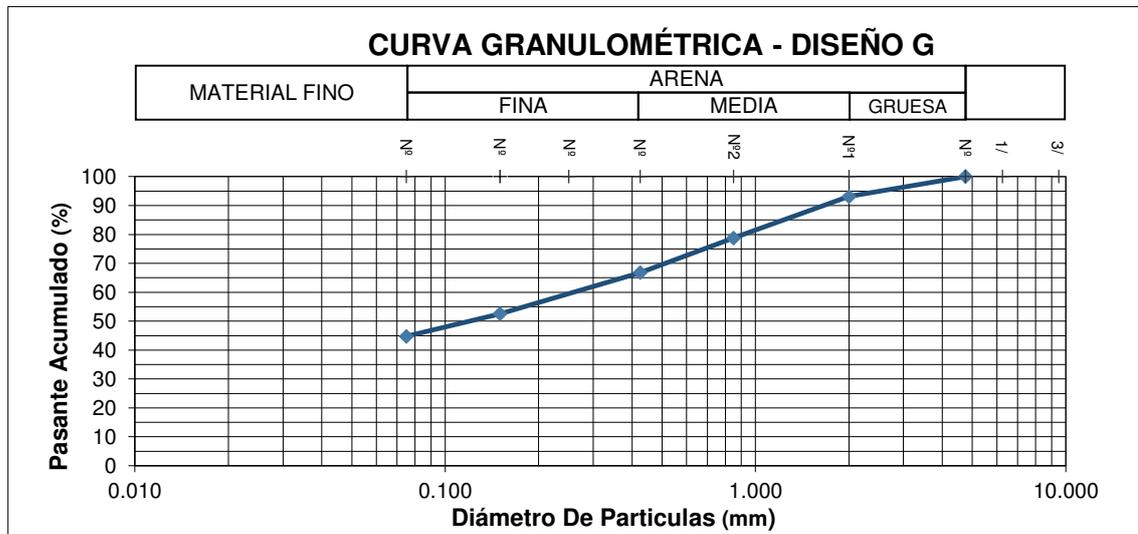
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	44.38%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	22.22%	
Ip	22.16	



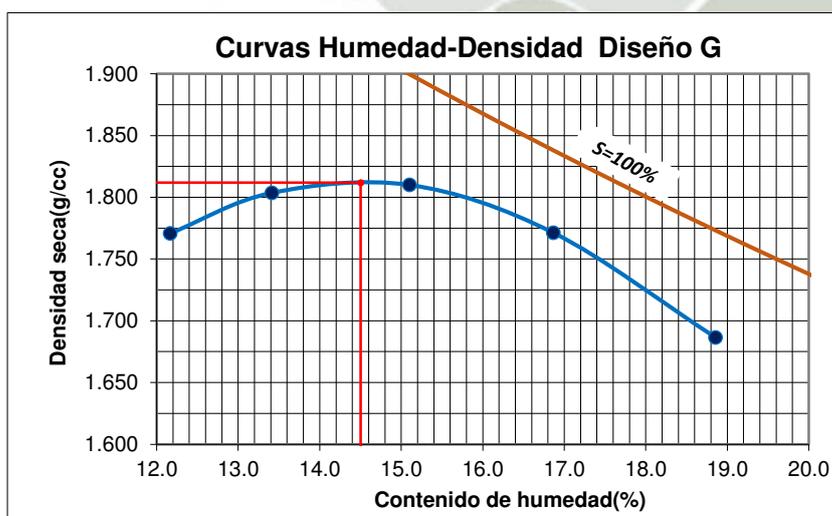
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
14.85%	1.80 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-12: Diseño F. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO G: ARENA ARCILLOSA



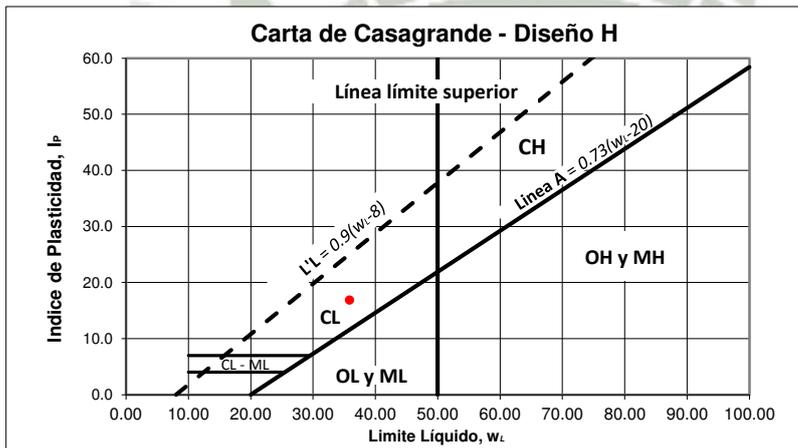
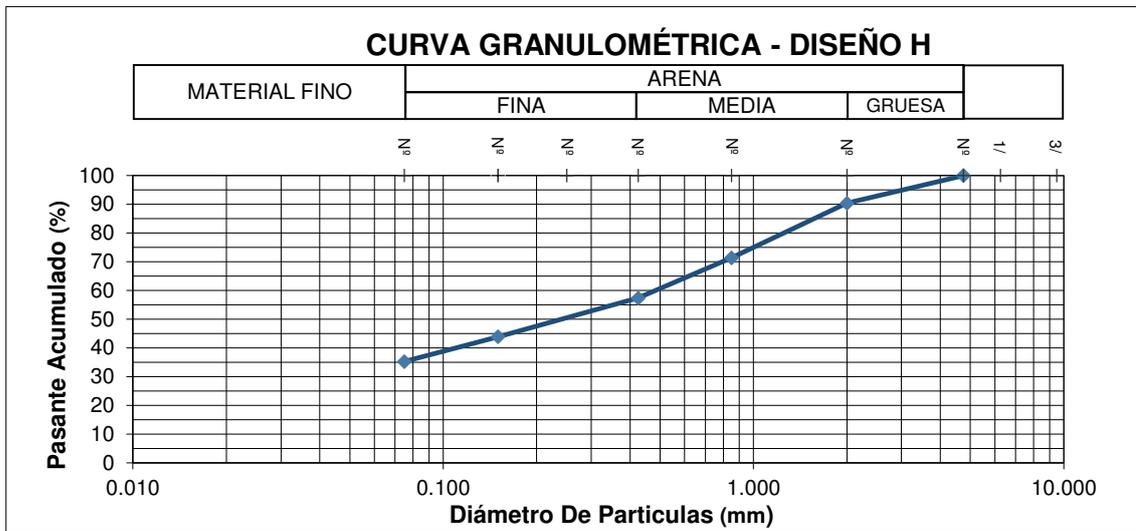
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	46.28%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	22.06%	
Ip	24.22	



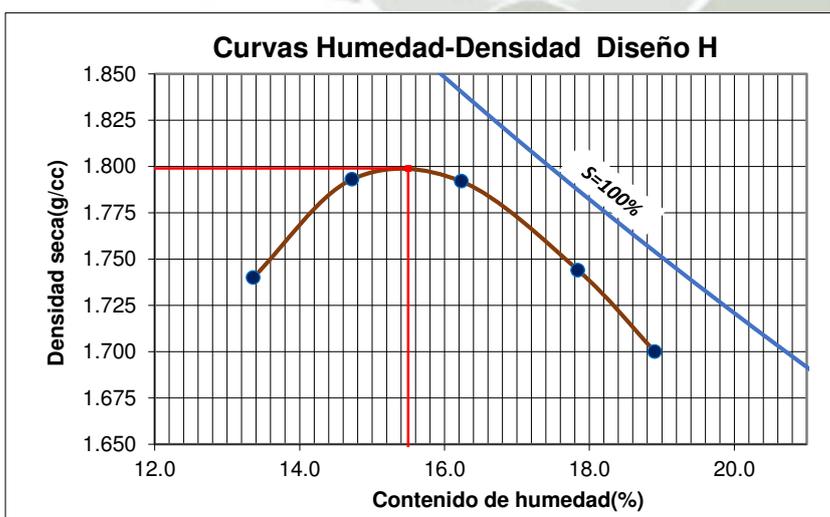
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
14.50%	1.81 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-13: Diseño G. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO H: ARENA ARCILLOSA



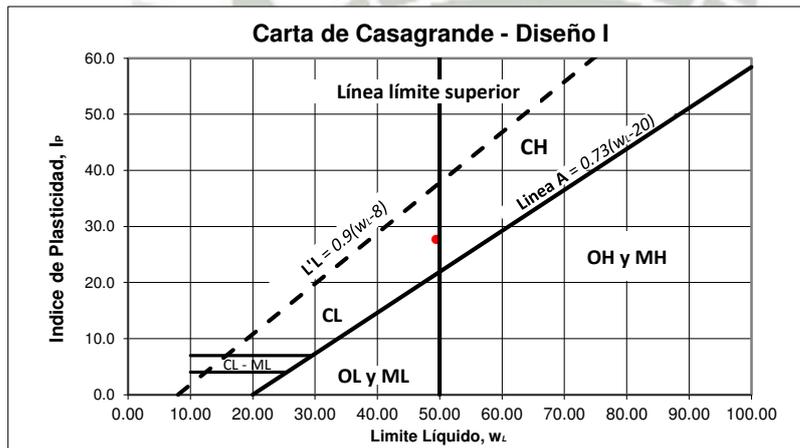
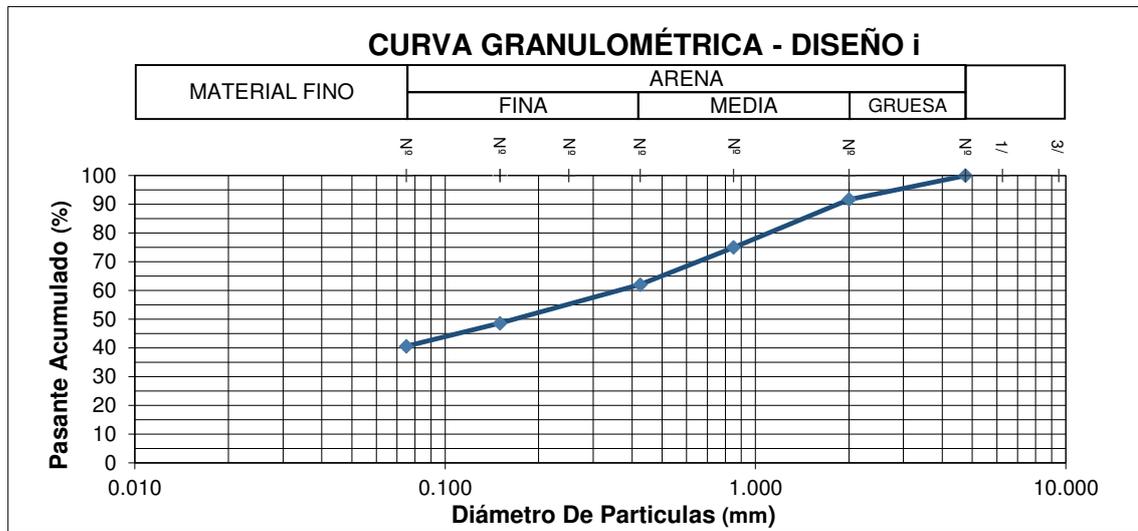
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	35.85%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	19.01%	
Ip	16.84	



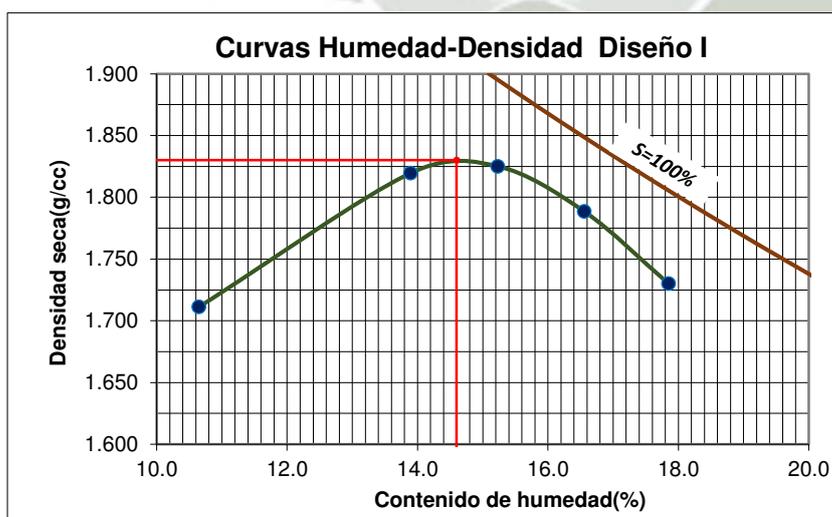
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
15.50%	1.80 g/cm3

Gráfico 5-14: Diseño H. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO I: ARENA ARCILLOSA



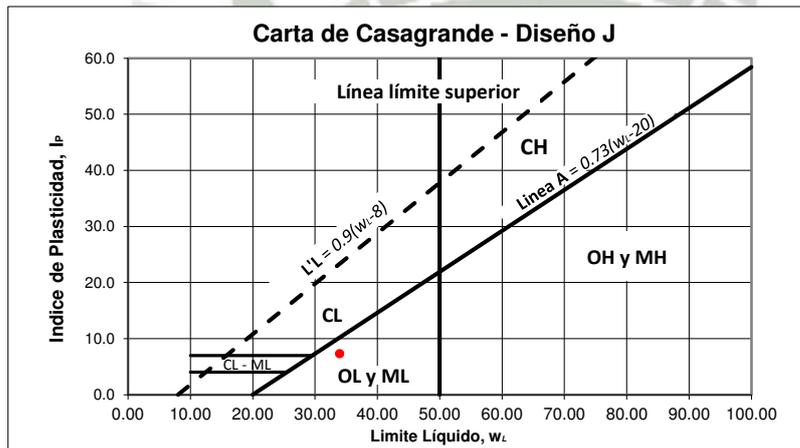
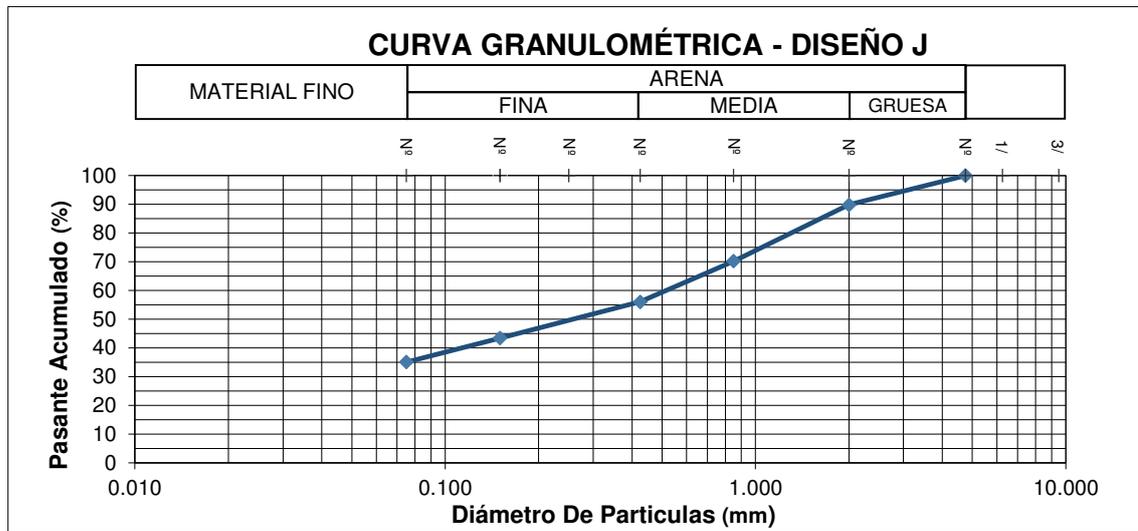
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	46.45%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	21.79%	
Ip	27.66	



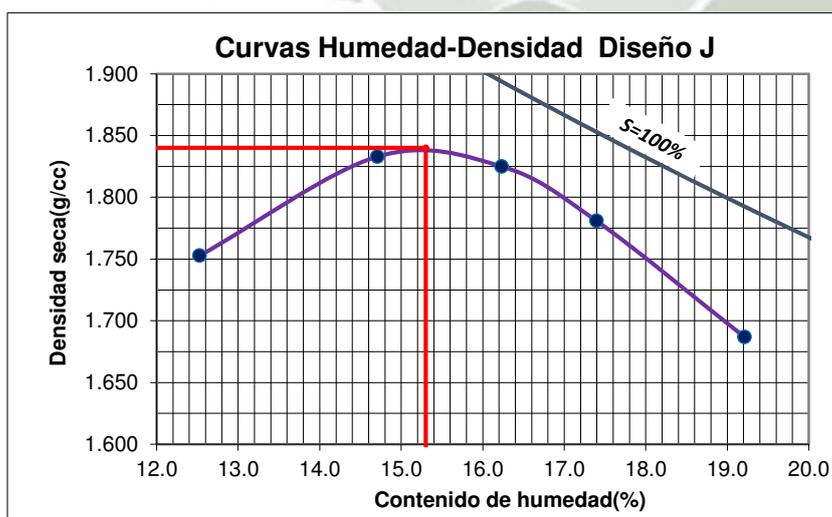
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
14.60%	1.83 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-15: Diseño I. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO J: ARENA LIMOSA



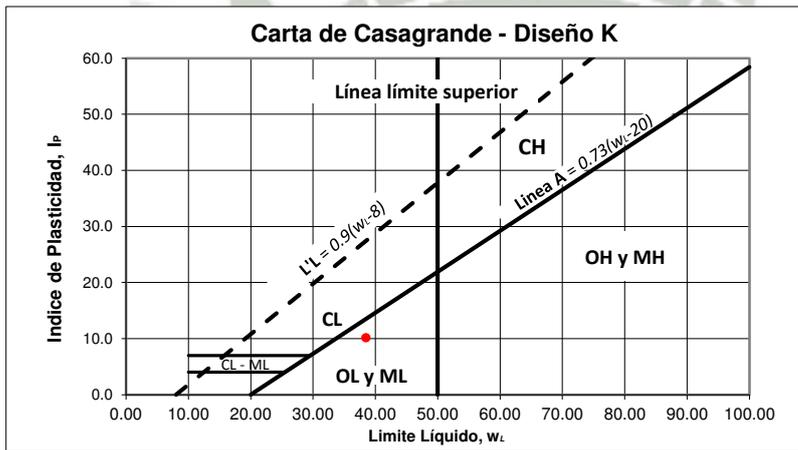
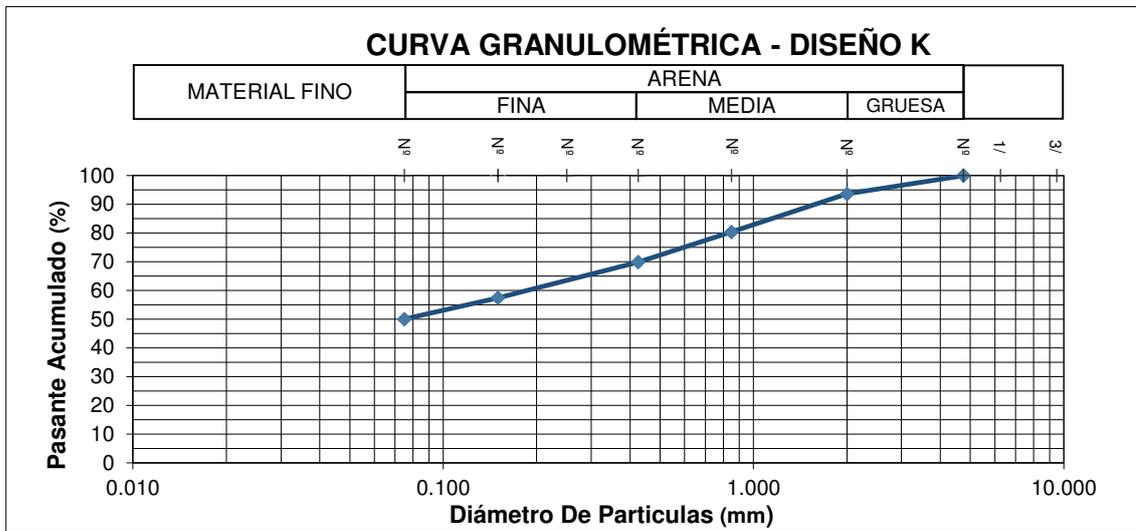
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	33.94%	LIMO BAJA PLASTICIDAD
Lp	26.67%	
Ip	7.28	



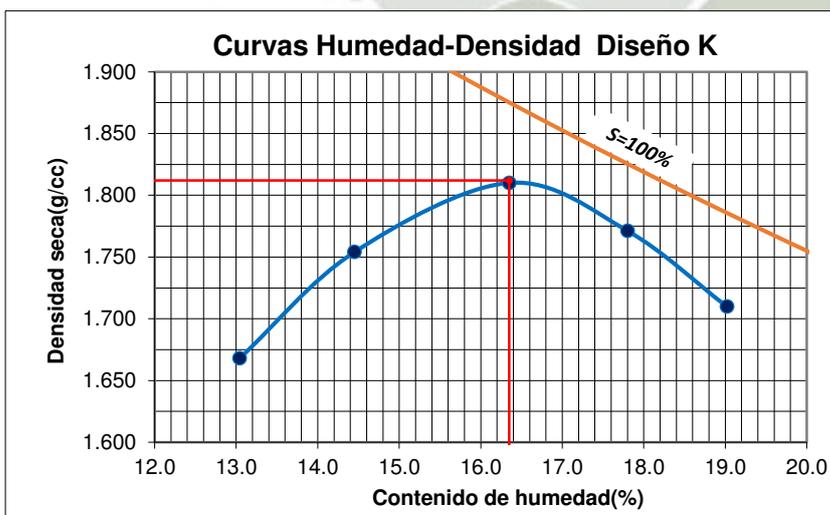
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
15.30%	1.84 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-16: Diseño J. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO K: ARENA LIMOSA



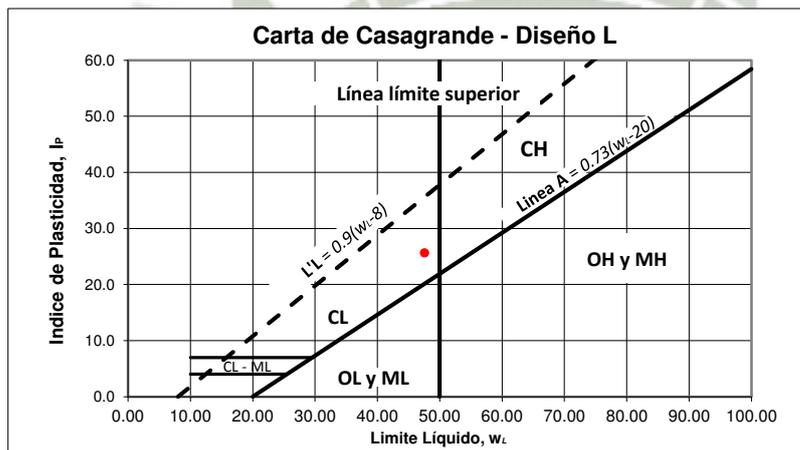
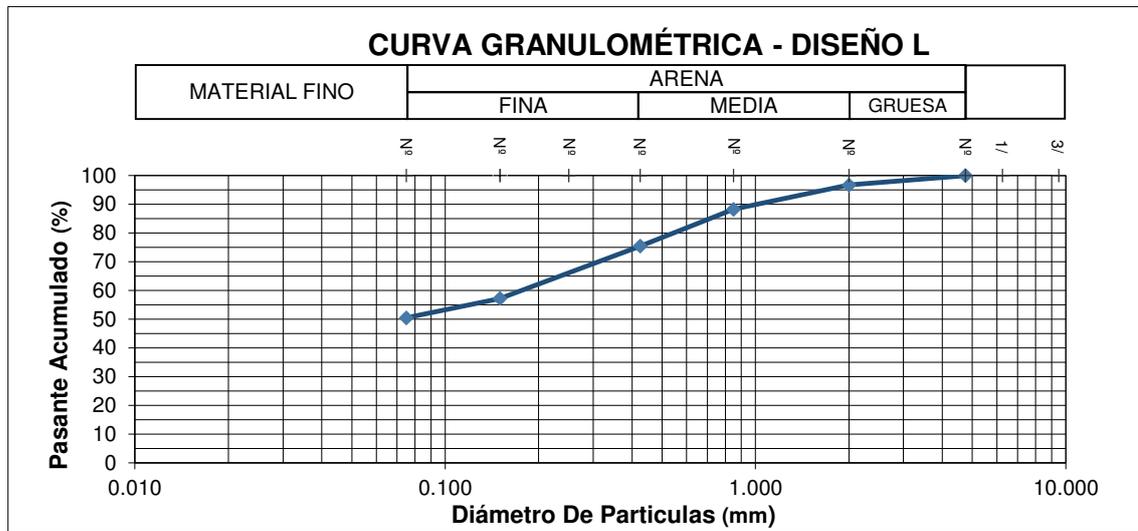
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	38.51%	LIMO PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	28.40%	
Ip	10.10	



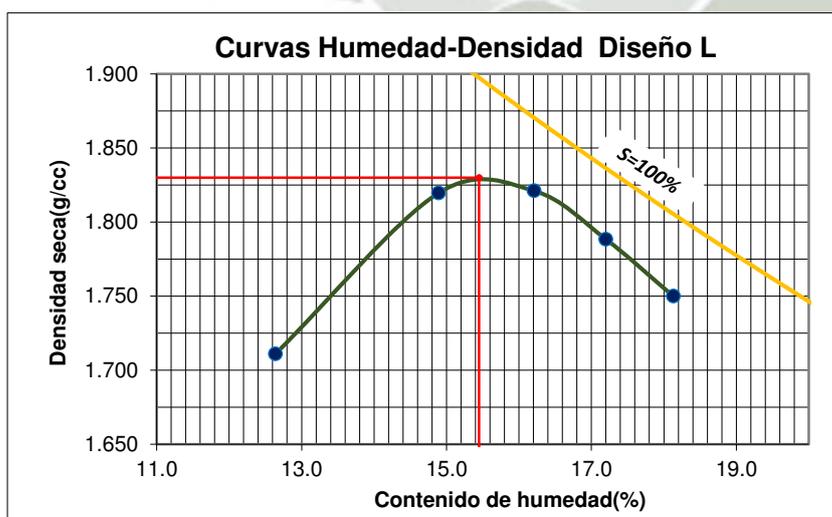
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
16.35%	1.81 g/cm3

Gráfico 5-17: Diseño K. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO L: ARENA ARCILLOSA



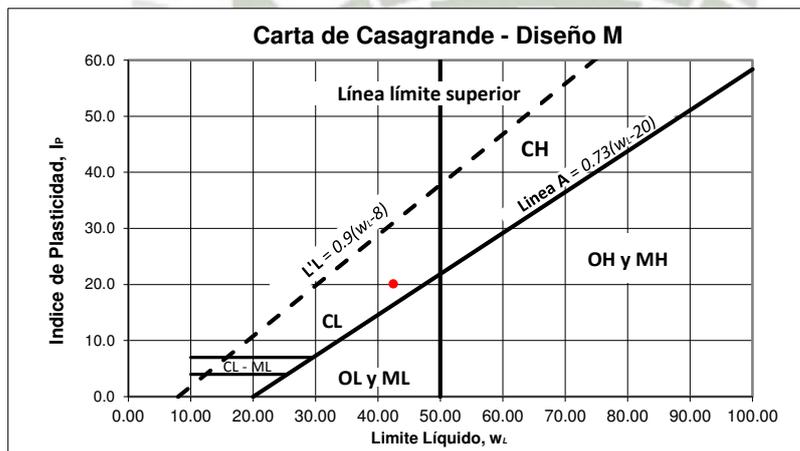
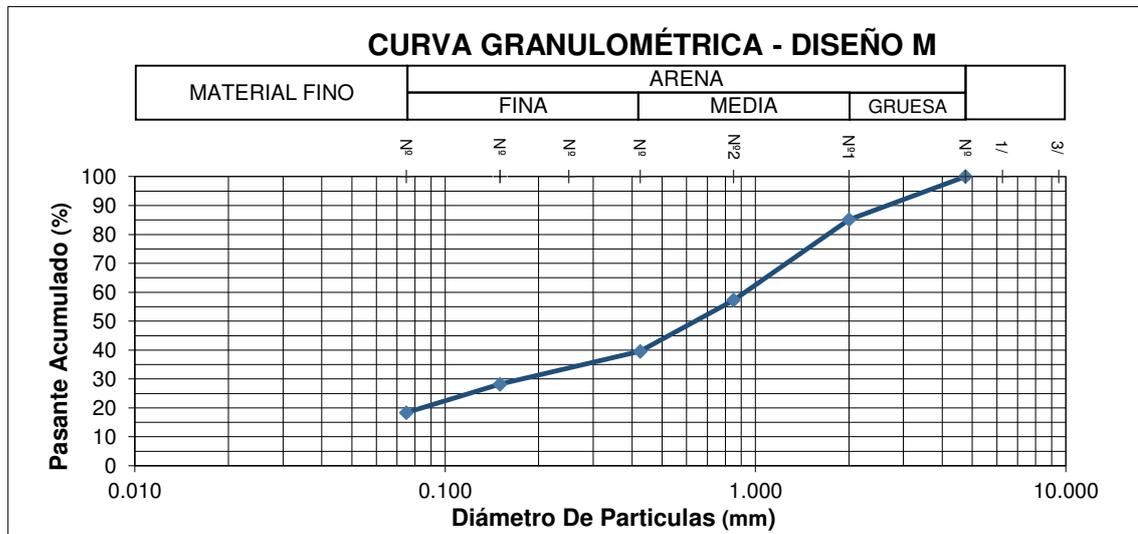
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	47.56%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	21.95%	
Ip	25.61	



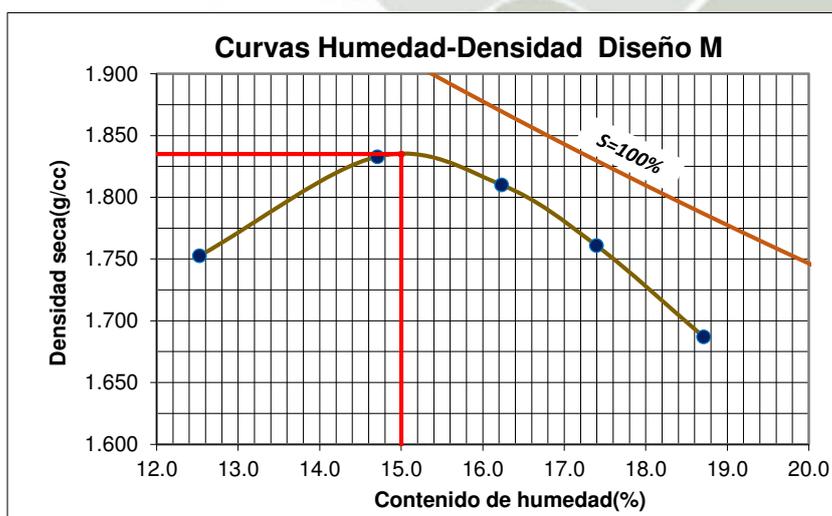
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
15.45%	1.83 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-18: Diseño L. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO M: ARENA ARCILLOSA



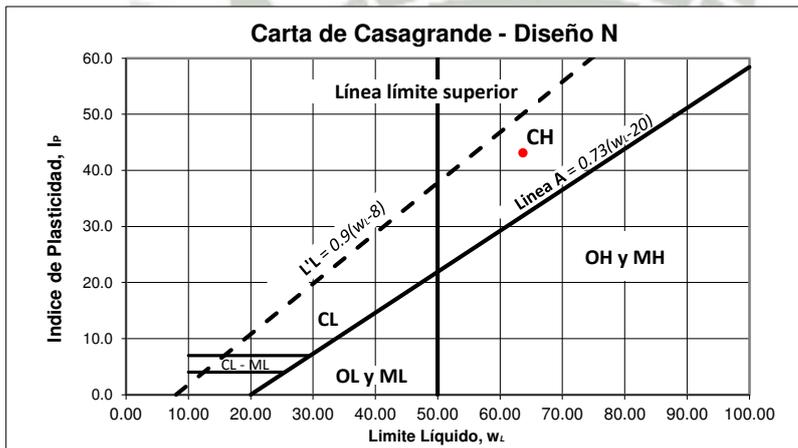
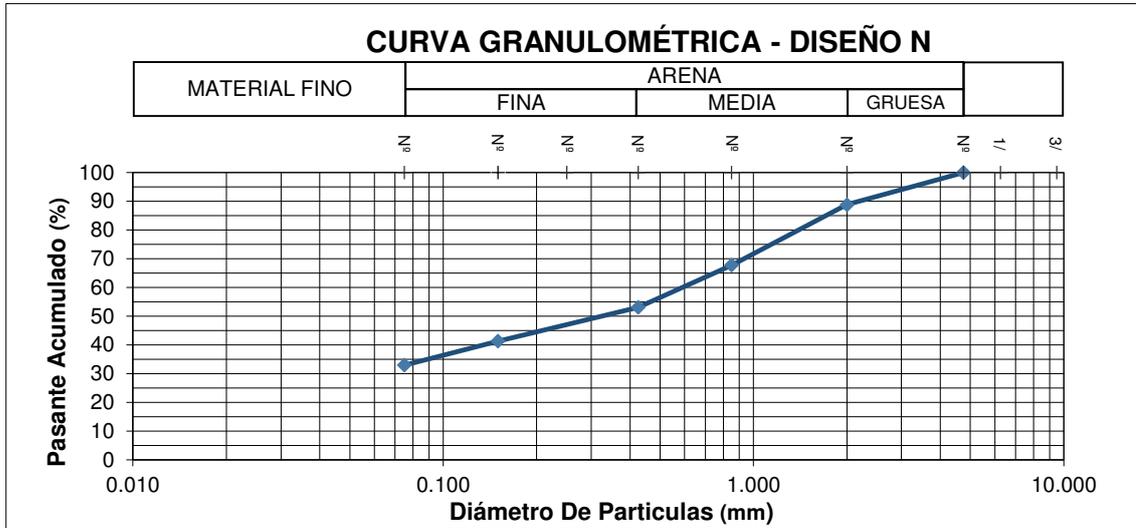
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	42.50%	ARCILLA PLASTICIDAD INTERMEDIA
Lp	22.38%	
Ip	20.12	



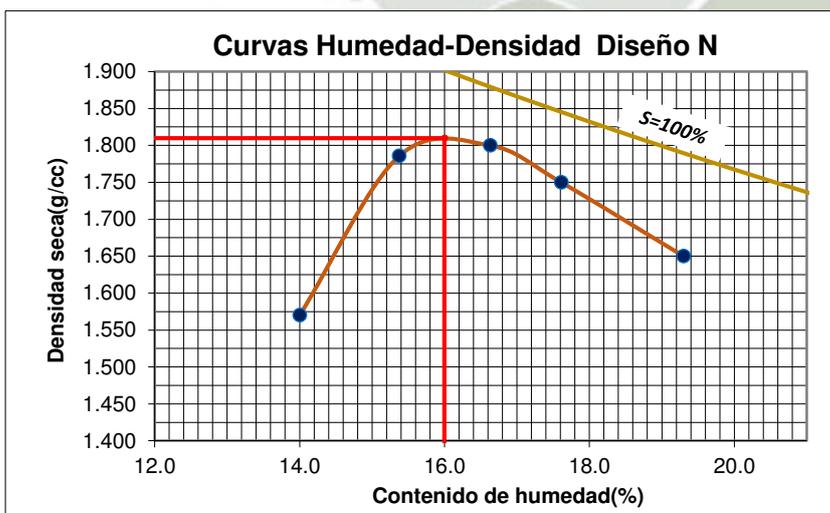
Contenido de humedad Óptimo	Densidad Seca Máxima
15.00%	1.84 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-19: Diseño M. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO N: ARENA ARCILLOSA



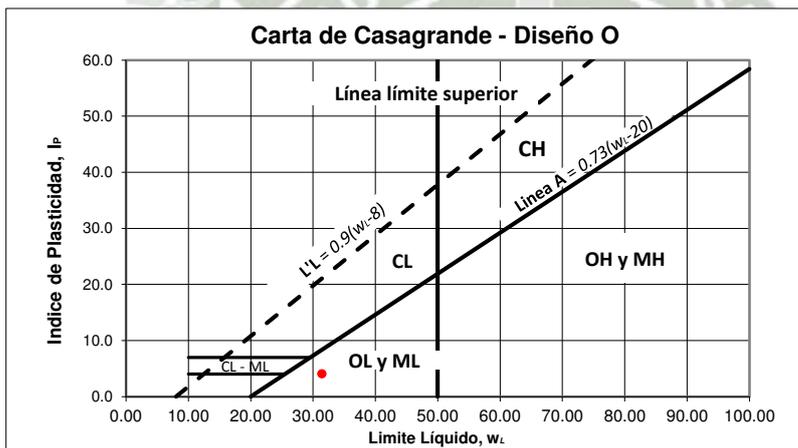
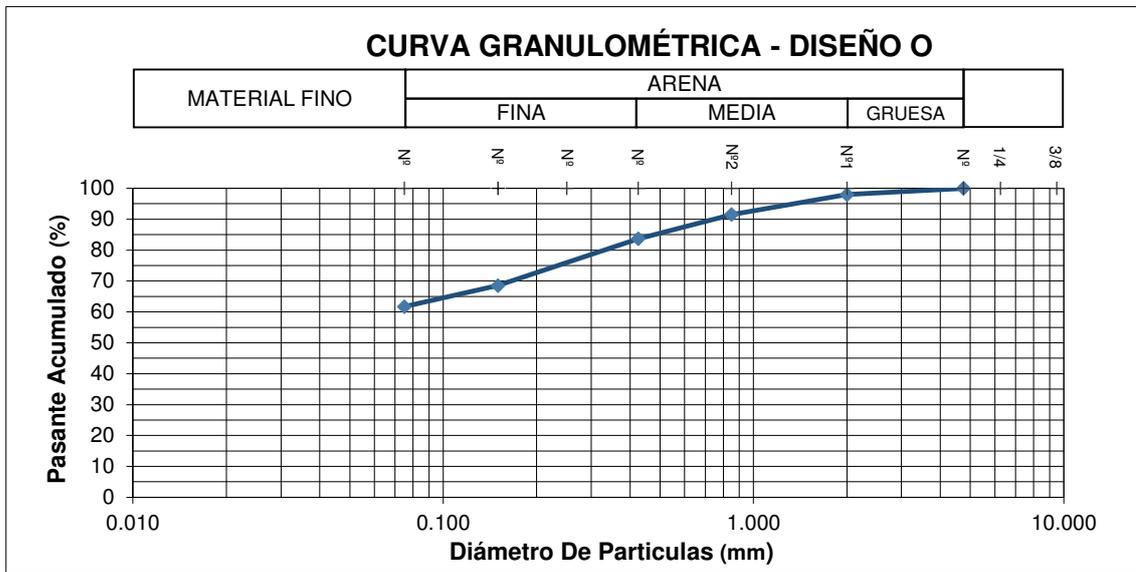
CLASIFICACION DE FINOS		
LL	63.68%	ARCILLA ALTA PLASTICIDAD
Lp	20.59%	
Ip	43.09	



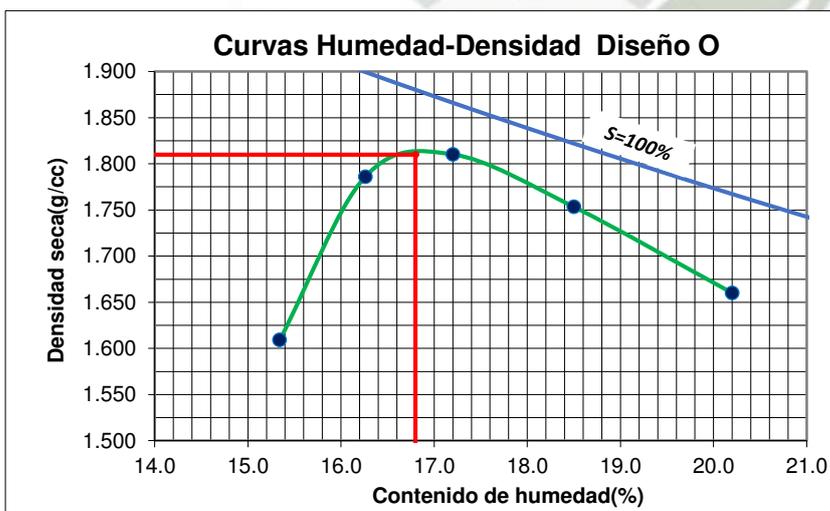
Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
16.00%	1.81 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-20: Diseño N. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

### DISEÑO O: LIMO DE BAJA PLASTICIDAD



CLASIFICACION DE FINOS		
LL	31.44%	LIMO BAJA PLASTICIDAD
Lp	27.41%	
Ip	4.03	



Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
16.80%	1.81 g/cm <sup>3</sup>

Gráfico 5-21: Diseño O. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

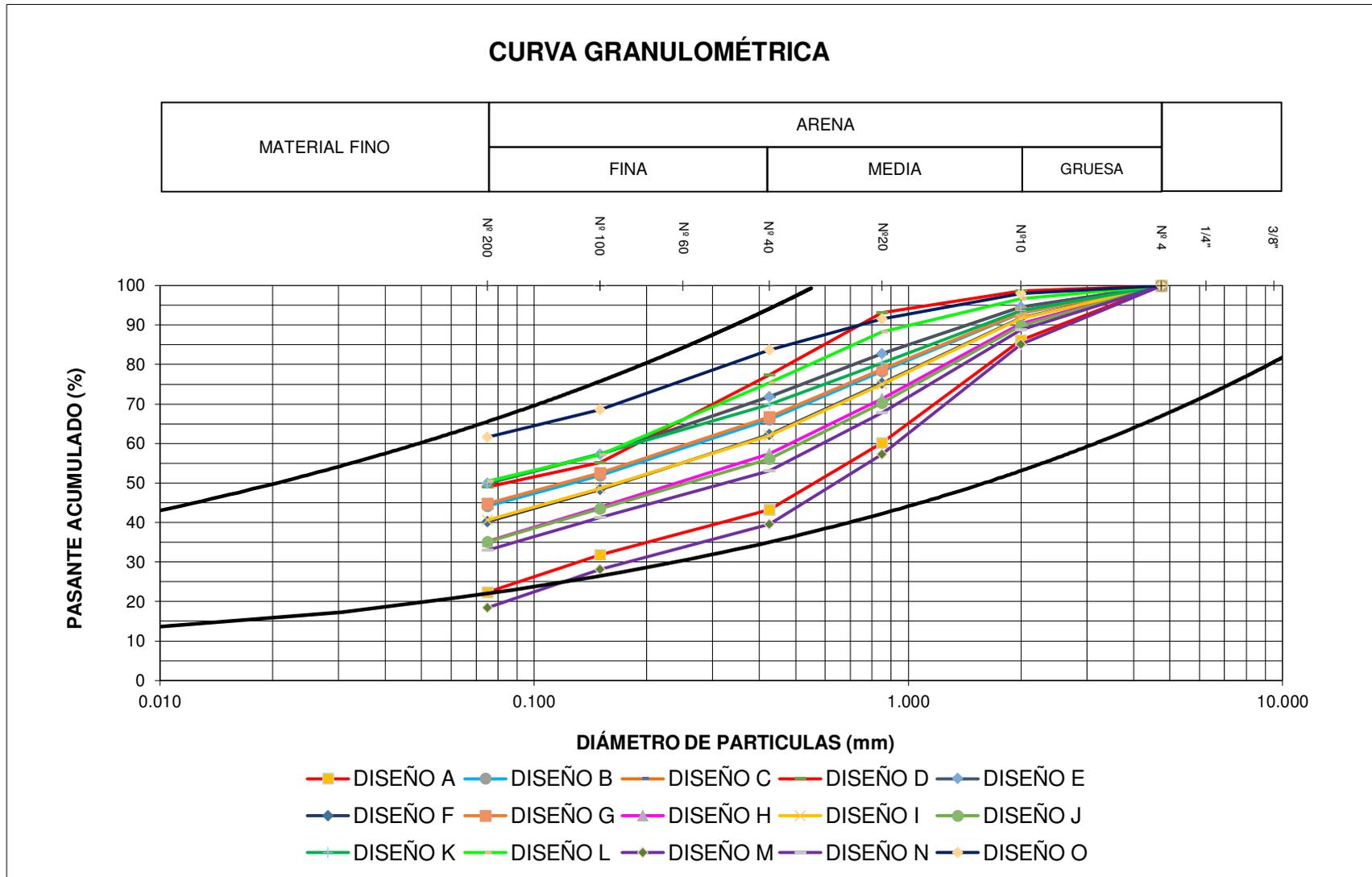


Gráfico 5-22: Curva granulométrica de todos los diseños definidos encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410

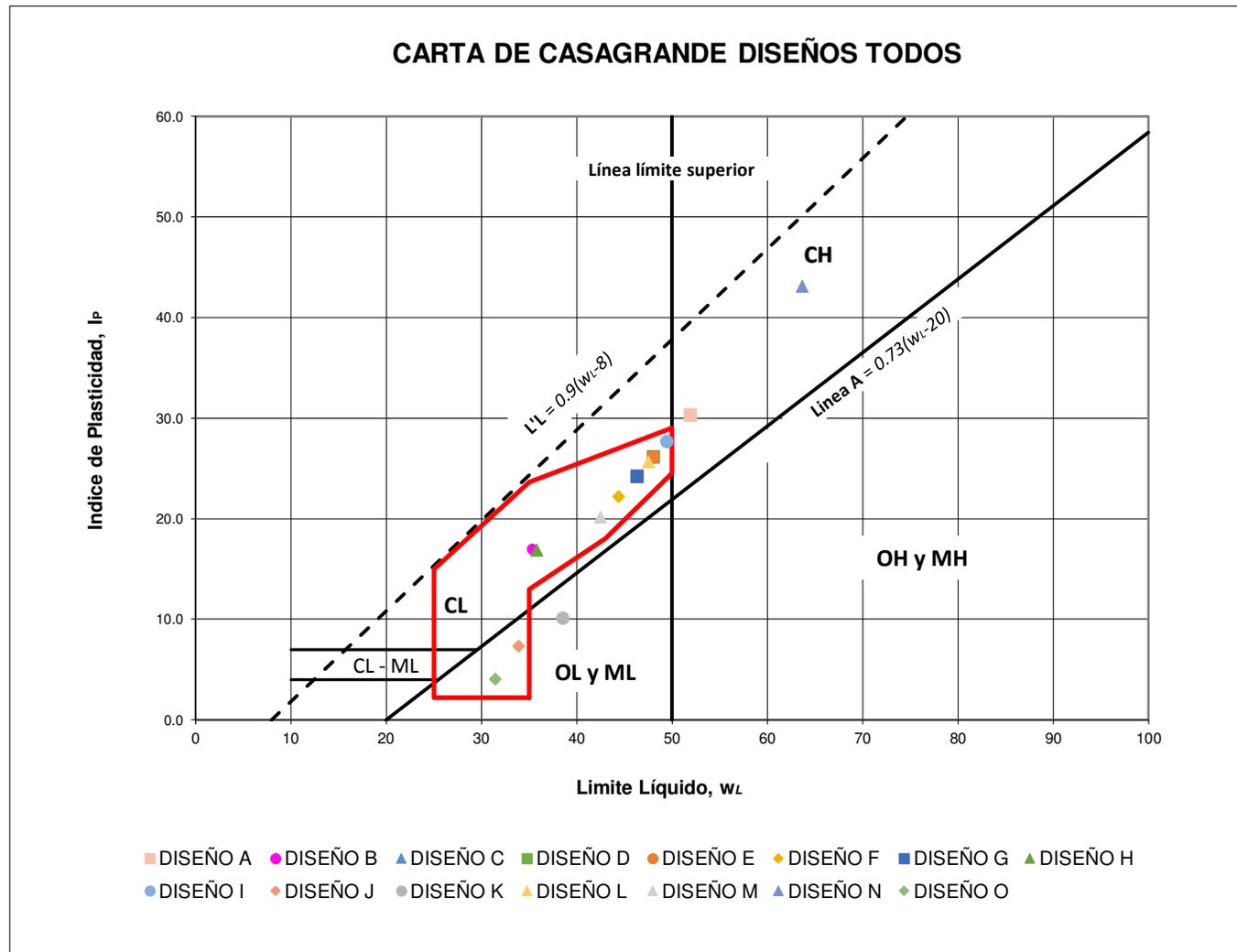


Gráfico 5-23: Límites de Atterberg de todos los diseños elaborados, encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410

## METODO DE ENSAYOS REALIZADOS

### 5.3.1. Ensayo de Granulometría

El objetivo de estos ensayos fue determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo. La distribución de tamaños de partículas más grandes de 75  $\mu\text{m}$  (retenidas en el tamiz No 200) se determina por tamizado, en tanto que la distribución de las partículas más pequeñas que 75  $\mu\text{m}$  se determina por un proceso de sedimentación.

#### 5.3.1.1. Por Tamizado c/s Lavado

La norma MTC E 107 – 2000 describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta la malla de 74 mm (N° 200)



Figura 5-12: Máquina tamizadora

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Dos de nuestros cuatro suelos tenían un alto contenido de material fino, ya sea arcilla o limos, y por más que se hicieron secar las muestras al horno a 100°C por 24 horas, habían terrones que daban una falsa granulometría del material, es por esto que se realizó el ensayo granulométrico con lavado, pesando la totalidad de la muestra seca y, como su nombre lo indica, lavarla con un chorro de agua constante sobre la

malla N°200, haciendo que la mayor cantidad de finos pasen a través del tamiz hasta que el agua en la que se sumerge este lo más transparente y cristalina posible. Recién allí a la muestra se le deja secar al horno para luego pesarla nuevamente. La diferencia entre los pesos inicial y final, nos da el peso total de finos que se eliminaron. Con el resto de la muestra se hizo el ensayo de granulometría por tamizado usando las mallas N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100 y N°200.

### 5.3.1.2. Por Sedimentación

Este método de prueba realizado según la norma MTC E 109 – 2000 cubre las determinaciones cuantitativas de la distribución de tamaño de las partículas de las fracciones finas de los suelos usando un hidrómetro que asegure los datos necesarios.

El tamaño aproximado de la muestra que se usó para el análisis por el hidrómetro para suelos limosos y arcillosos es de 50 g (Masa seca). Se introdujo el hidrómetro en una probeta conteniendo la solución de concentración del suelo y defloculante, y se registraron las lecturas observadas bajo menisco. Durante los dos primeros minutos de la prueba el hidrómetro permaneció dentro de la suspensión de suelo que se está sedimentando. No es conveniente prolongar la prueba del hidrómetro por más de 24 h, ya que para tamaños de partículas inferiores a 0.5 micras, el fenómeno de sedimentación se ve grandemente influenciado por el movimiento Browniano.



Figura 5-13: Probetas usadas en el ensayo de granulometría por sedimentación para la tierra arcillosa.

### 5.3.2. Ensayo de Límites de Consistencia

Los límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos o capas granulares y se basan en los 4 estados de consistencia según su humedad: Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregarle agua va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente fluido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

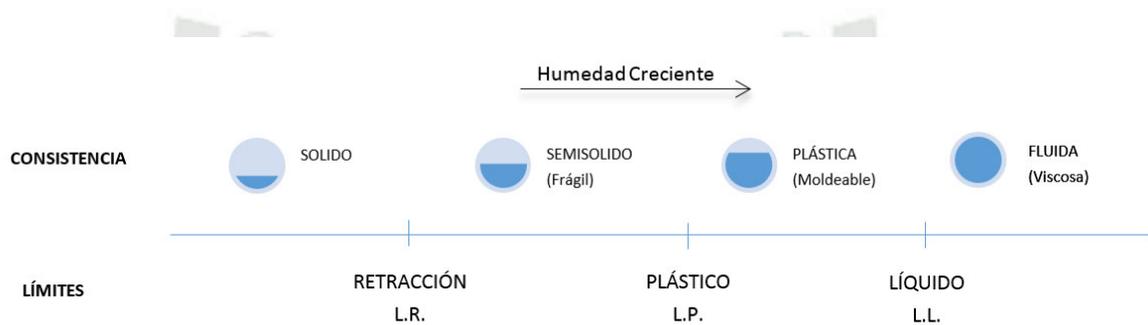


Gráfico 5-24: Relación entre el estado físico del sólido y los límites de consistencias

Se denomina Índice Plástico a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ), representando por tanto el rango de humedad en el que el material tendrá un comportamiento plástico. Los ensayos descritos a continuación nos permitirán determinar este índice para la muestra analizada.

#### 5.3.2.1. Limite Líquido

Se define el límite líquido, a los efectos de la norma MTC E 110 - 2000, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada (Casagrande), cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una frecuencia de 2 golpes por segundo.

### 5.3.2.2. Limite Plástico

Realizado según la norma MTC E 111 – 2000. Se define el límite plástico como la humedad más baja con la que pueden formarse con las diferentes combinaciones de suelos cilindros de 3 mm de diámetro, rodando dicha muestra entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse



Figura 5-15: Muestras preparadas para los límites y cuchara de Casagrande



Figura 5-14: Rollitos realizados para determinar el límite plástico del suelo

### 5.3.3. Ensayo de Proctor Estándar

El agua que se utiliza en la compactación funciona como lubricante, disminuyendo la fricción entre las partículas y permitiendo una mayor compactación con una menor energía. Para cada combinación es necesario conocer el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima que varían, sobre todo, en función de la presión de compactación utilizada. Ambos datos serán determinados mediante las curvas humedad-densidad.

Para esto se realizó el ensayo de Proctor estándar según la norma MTC E 116 - 2000. Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación)

- Molde.- 4 pulg. de diámetro (101,6mm)
- Material.- Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).
- Capas.- Tres
- Golpes por capa.- 25
- Uso.- Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).

Para la determinación de la densidad seca máxima, fue necesario preparar 3 kilogramos de muestra para cada contenido de humedad, se eligieron cinco puntos de humedad diferentes, de menor a mayor cantidad. La densidad seca máxima, se calculó pesando, para después desecar la probeta obtenida luego de compactar la muestra en el molde, para así conseguir su densidad y contenido de humedad.



Figura 5-16: Muestra de suelo compactada

#### 5.3.4. Preparación de las Muestras

Hay que decir que, como el número de ensayos a realizar no es el mismo en todas las fases del proyecto, el número aproximado de unidades a ensayar varía.

La mezcla se prepara con el contenido óptimo de humedad. Cada combinación se premezclaba en seco durante 1 minuto en el trompo y a continuación se añadía la cantidad de agua fijada de manera constante, y se volvía a mezclar durante 4 minutos con el fin de garantizar la homogeneidad de la mezcla. A continuación, se procedió a la compactación de las muestras gracias a la máquina de fabricación de los ladrillos suelo-cemento con una presión de 4500 lb/in<sup>2</sup>

Son ladrillos rectangulares, compactos de 125 mm de ancho, 250 mm de largo y 70 mm de altura, con dos cavidades de 63 mm de diámetro. Una vez compactadas las unidades, se desmoldaron y se colocaron separadas unas de otras esperando a que reaccione el cemento, al día siguiente se les cubría con una manta de polar húmeda. De esta manera, se evitaba una desecación prematura de las mismas y se aseguraba la disponibilidad de humedad en el ladrillo para un curado correcto. Cada una de los especímenes se pesó y se clasificó para someterlas posteriormente a diferentes ensayos a distintas edades de curado: 7, 14 y 28 días.



Figura 5-17: Muestra de suelo húmedo para prensarla y ladrillos apilados en la etapa de secado.

### 5.3.5. Ensayo de Determinación del Contenido Orgánico en Suelos (Mediante Pérdida por Ignición)

Cabe resaltar la importancia de realizar este ensayo, pues es necesario controlar la cantidad de material orgánico en la mezcla para evitar una reacción negativa con el cemento.

El método de "pérdida por ignición" sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. Se procede según lo estipulado en la norma I.N.V E -121

Se ensayaron los tres diseños definitivos, primero se recolectó una muestra considerable de cada diseño pasante del tamiz # 10, aproximadamente 100 g los cuales se dejaron secar completamente al horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta conseguir un peso constante. Luego de esta muestra se tomó 40 g representativos los cuales se llevan a fuego aproximadamente por 6 horas, posteriormente se dejaron enfriar para proceder con el cálculo necesario.

El contenido orgánico deberá expresarse como un porcentaje del peso del suelo secado en el horno y deberá calcularse así:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

A = Peso del suelo seco al horno antes de la ignición + recipiente

B = Peso del suelo seco al horno después de la ignición + recipiente

C = Peso del recipiente con aproximación a 0.01 gramos.

Calcúlese el porcentaje del contenido orgánico con aproximación al 0.1%.



Figura 5-18: Muestras de suelo sometidas al ensayo de determinación del contenido de materia orgánica

### 5.3.6. Ensayo de Resistencia a Compresión Simple

El objetivo de este ensayo es conocer las propiedades mecánicas en cuanto a resistencia a compresión simple (en kgf/cm<sup>2</sup>) de cada combinación estudiada. Se siguió todas las indicaciones de la norma NTP 399.613 con la salvedad de que sólo se admitió el ensayo de piezas enteras secadas al horno a 70°C por 24 horas.

Para la realización de este ensayo se colocó el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina, reemplazando el refrentado se dispuso una plancha de triplay de 3mm de espesor sobre cada cara de asiento del ladrillo. Debido a que el área del bloque de apoyo es menor que la cara del espécimen que debe estar en contacto con él, se debió intercalar una plancha de acero totalmente horizontal para obtener un contacto perfecto sobre su superficie y así poder repartir equitativamente la fuerza que aplica la prensa.

La prensa usada fue de marca ELE internacional normalizada, que va ejerciendo una carga continua sobre la muestra de 90 kg/s hasta completar la rotura de la misma. Se realizaron tres ladrillos idénticos por diseño a ensayar, con lo que el resultado final es la media aritmética entre las tres. Al mismo tiempo, como medida de control, a cada una de los ladrillos se tomó medidas de todas sus dimensiones por si variaban debido a algún efecto de expansión

Para la determinación de la resistencia alcanzada se divide la fuerza aplicada sobre el área del espécimen, en el caso de ladrillos perforados, fue necesario calcular su volumen y aplicar la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{h}$$

En donde:

- **A** es el área del ladrillo dado en centímetros cuadrados.
- **V** es el volumen del ladrillo en centímetros cúbicos.
- **h** es la altura del ladrillo en centímetros.

### 5.3.7. Ensayo de Absorción

Primeramente cabe destacar la importancia de realizar este exigente ensayo ya que aquellas combinaciones que lo superan tienen un valor añadido. Realizado conforme dicta la norma NTP 399.613 para ladrillos de arcilla cocida debido a la inexistencia de normativa preparada para los ladrillos suelo-cemento. Además hay que tener en cuenta, que ninguna de las probetas sometidas a inmersión estaban protegidas con ningún tipo de recubrimiento hidrófugo ni envolturas (foto 11).



Figura 5-19: Medios ladrillos luego de estar sumergidos por 24 hrs en agua

Se colocaron los especímenes secos en un recipiente lleno de agua, manteniéndose completamente sumergidos durante 24 horas. Transcurrido el lapso indicado, se retiraron las unidades, secando con un trapo húmedo el agua superficial para luego pesarlos.

Se sometieron al ensayo de absorción cinco medios ladrillos por cada combinación. Como el objetivo de este ensayo era analizar y valorar el porcentaje de absorción de agua que tienen los especímenes, se controló el peso antes (previo secado al horno 70°C por 24 horas) y después de realizado el ensayo como se indica en la norma. Además, durante los primeros 10 minutos de inmersión de unidades se controló su peso para hallar el porcentaje de absorción cada minuto.

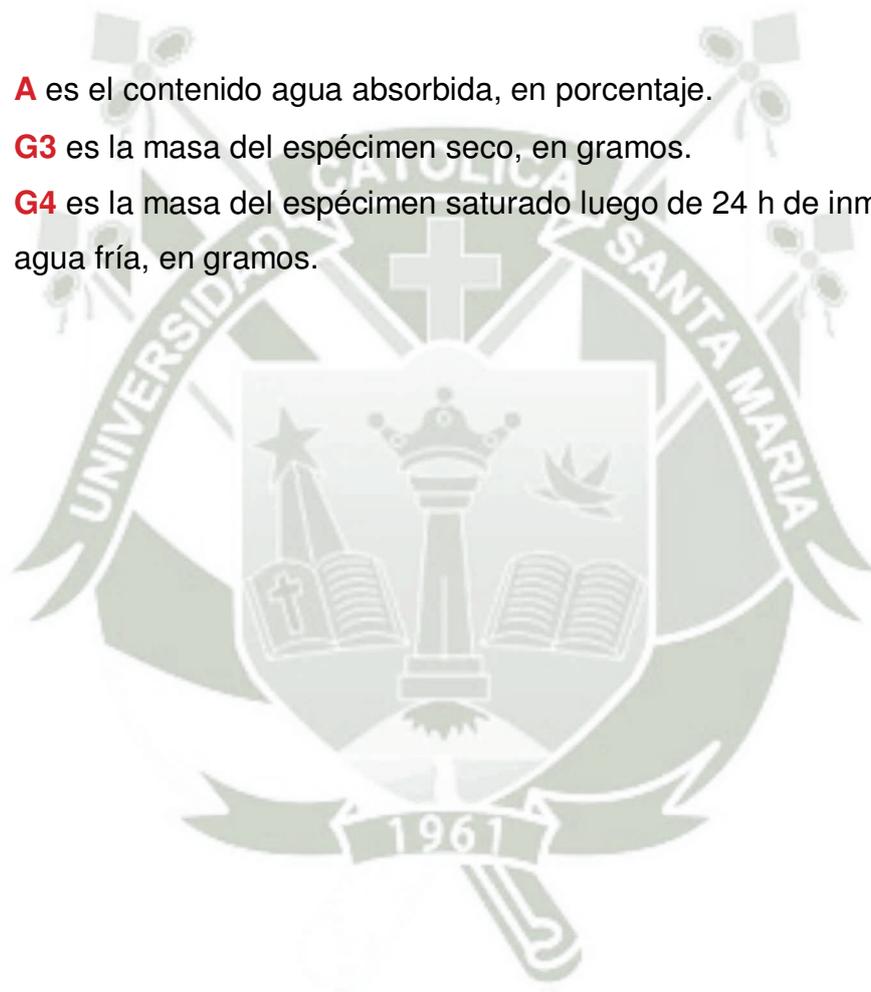
Al final del ensayo, se realizó una inspección ocular a todos los especímenes con el fin de determinar cualquier tipo de desperfecto: ladrillos rajados, desconchados, etc.

El contenido de agua absorbida se calcula con la ecuación siguiente:

$$A = \frac{G4 - G3 \times 100}{G3}$$

En donde:

- **A** es el contenido agua absorbida, en porcentaje.
- **G3** es la masa del espécimen seco, en gramos.
- **G4** es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría, en gramos.



### 5.3.8. Ensayo de Succión

Está comprobado que aquellos ladrillos cuya succión es excesiva, al momento de usarlos en muros de mampostería no se logra uniones adecuadas con el mortero. Esto pasa a la absorción del ladrillo originando una rápida pérdida de agua en el mortero, haciendo que este se deforme y endurezca impidiendo un contacto completo e íntimo con la cara del siguiente ladrillo, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

El ensayo se realizó con unidades enteras, se secan los especímenes al horno a 70°C durante 24 horas, Se mide el largo y ancho de la superficie del espécimen que estará en contacto con el agua con una precisión de 1 mm, para luego pesar el espécimen con una aproximación de 0,5 g.

Luego de encontrar la horizontalidad del fondo de la bandeja mediante un nivel de burbuja, se colocó el espécimen encima de los soportes contando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el período de contacto, se mantuvo el nivel de agua agregándole según fue necesario. Al final del tiempo de contacto, se sacó el espécimen, secando el agua superficial con un trapo húmedo, para luego pesarlo.

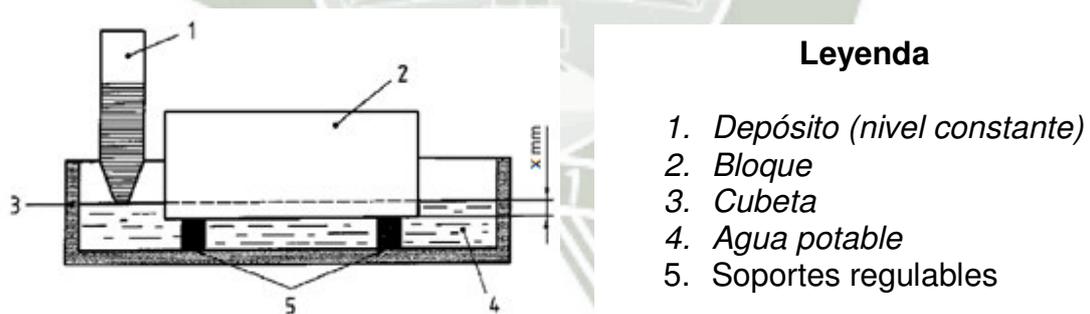


Figura 5-20: Esquema de materiales para realizar el ensayo de succión.

Se tomaron dos normativas al momento de realizar el ensayo usando 3 unidades por normativa.

#### 5.3.8.1. Ensayo de Succión

La determinación de la succión en los ladrillos de arcilla cocida se realizó conforme a la Norma Peruana ITINTEC 331.018.

- El tiempo de inmersión será de 1 min  $\pm$  1 s
- Mantener el nivel de agua 0,25 mm por encima de los soportes.

#### 5.3.8.2. Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los ladrillos suelo-cemento se realizará conforme a la Norma Española UNE 41410:2008

- El tiempo de inmersión será de 10 min  $\pm$  0,2 min.
- Mantener el nivel de agua 5 mm por encima de los soportes.

La diferencia en peso en gramos entre los pesos final e inicial, es el peso de agua absorbida por el ladrillo durante el tiempo de contacto con el agua. Como el área de contacto del ladrillo no difiere en  $\pm$  2,5% de 200 cm<sup>2</sup>, se dio como resultado el aumento de peso en gramos.

Se considera que para succiones mayores de 20g/min en un área de 200 cm<sup>2</sup> es indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

### 5.3.9. Ensayo de Humectación y Secado

El deterioro provocado por estos ciclos en la superficie de los ladrillos, hace que aumente la descomposición del material más rápidamente. Los ladrillos suelo-cementos sometidos a exposición severa se deben ensayar de acuerdo a la norma Española UNE 41410:2008, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Pérdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del ladrillo (visualmente por el exterior).
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

Se tomaron dos ladrillos enteros, utilizándose uno de ellos como referencia. Se colocó la cara del ladrillo que en su uso vaya a ser vertical sobre tres piezas de apoyo dentro de una bandeja, para luego añadirle agua hasta dejarlo sumergido hasta 10 mm. Luego de 30s se retira el espécimen dejándolo secar al aire, hasta igualar el color del ladrillo de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo. Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/secado/observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.



Figura 5-21: Esquema del ensayo de succión

### 5.3.10. Ensayo de Erosión Acelerada

La principal causa de erosión en los muros de tierra, es la liberación de la energía cinética asociada con las gotas de lluvia que afectan a la superficie. Algunos de los factores que influyen en la energía cinética sobre el muro de tierra:

- intensidad de la lluvia
- ángulo de la lluvia
- anchura de los aleros
- rugosidad del muro

La durabilidad se debe abordar si se quiere la aceptación de la tierra como material de construcción. Este ensayo se requiere si los ladrillos suelo-cemento están sometidas a exposición severa, de acuerdo a la norma Española UNE 41410:2008 clasificándolos en apto o no apto, según el criterio expresado en la tabla

Propiedad	Criterio	Resultados
D, profundidad de la oquedad, en mm	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

Tabla 5-1: Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Se ensayaron dos ladrillos enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo. Se dejó caer una corriente continua de agua sobre la unidad durante 10 min a través de un tubo de cristal de  $\varnothing$  interior = 5 mm, conectado a un tanque de agua de nivel constante. La unidad se mantuvo inclinada a  $27^\circ$  respecto a la horizontal. Terminado el ensayo, con una varilla de  $\varnothing = 3$  mm, se midió la profundidad de las oquedades (D) que aparecieron.

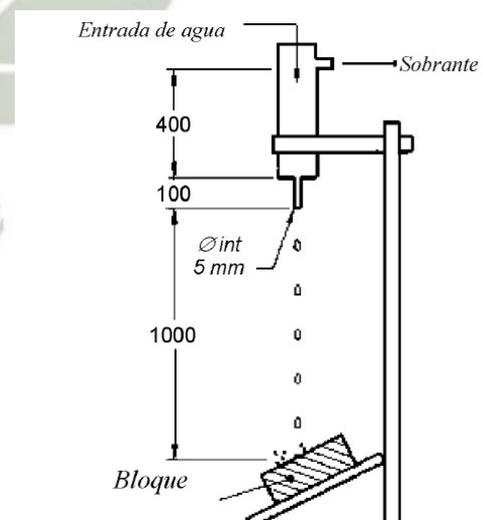


Figura 5-22: Esquema del ensayo de erosión acelerada

### 5.3.11. Geometría: Variación de Dimensiones y Alabeo.

En términos generales ningún ladrillo tiene exactamente las dimensiones especificadas. Existen diferencias de largo, de ancho y alto, así como deformaciones de la superficie asimilables a concavidades o convexidades. Estas imperfecciones geométricas generan la necesidad de hacer juntas de mortero mayores que las convenientes. A mayores imperfecciones mayores espesores de juntas.

Las dos funciones principales del mortero en la albañilería son,

- separar los ladrillos de tal modo que absorba las irregularidades de estos.
- pegar los ladrillos de manera que la albañilería sea un todo.

Para este tipo de albañilería se estima que un espesor de juntas de 5 mm a 6 mm es adecuado y suficiente, un espesor mayor va disminuyendo la resistencia de los muros.

Por lo antes mencionado se concluye que las imperfecciones geométricas del ladrillo inciden en la resistencia de la albañilería. A más y mayores imperfecciones menor resistencia de la albañilería y, adicionalmente el aspecto de la albañilería más deteriorado.

#### 5.3.11.1. Ensayo de Alabeo

En la totalidad de especímenes ensayados, se presentó un alabeo como convexidad, por lo que se colocó al borde recto de la regla sobre dos aristas opuestas de una de las caras mayores de ladrillo. Se introdujo en cada vértice una cuña, buscando el punto de apoyo de la regla sobre la diagonal, para la cual en ambas cuñas se obtenga la misma medida.



Figura 5-23: Determinando alabeo por convexidad de la cara del ladrillo.

### 5.3.12. Ensayo de Compresión Axial y Tracción Diagonal (Pilas Y Muretes)

Los prismas de albañilería (pilas y muretes) son pequeños especímenes cuyos ensayos de compresión axial y diagonal, permiten determinar la resistencia a compresión ( $f'm$ ) y a corte puro ( $v'm$ ), respectivamente, de la albañilería.

Los prismas fueron elaborados utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva.

Las pilas de albañilería están compuestas por cuatro unidades enteras asentadas una sobre otra mediante mortero, con una altura total promedio de 29 cm y sus juntas oscilan entre 0.5 cm – 0.6 cm.

Los muretes están compuestos por ocho hiladas de unidades enteras asentadas una sobre otra mediante una junta de mortero cuyo espesor varía entre 0.5 cm – 0.6 cm, con una altura total promedio de 60 cm y un ancho total promedio de 63 cm.

Estos prismas, con una edad nominal de 14 días, se ensayan a compresión axial y diagonal respectivamente, los resultados se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de un edificio, así como para controlar la calidad de la construcción de la albañilería.



Figura 5-24: Murete sometido al ensayo de tracción diagonal

## CAPITULO 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS



## CAPITULO 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se analizan y valoran los resultados obtenidos de los ensayos realizados en cada fase.

En las dos primeras fases, se analizan básicamente los resultados obtenidos de los ensayos clasificatorios, para cada combinación propuesta.

Mientras que en la tercera fase, además de analizar los resultados de los ensayos clasificatorios también se analizan los no clasificatorios, así como los resultados de las pilas y muretes elaborados para cada diseño.

### 6.1. FASE I

En esta fase inicial, se exponen los resultados referentes a los 15 diseños preliminares en base a las pruebas clasificatorias, las cuales son:

- a. Alabeo.
- b. Variación dimensional.
- c. Resistencia a la compresión.

Como se mencionó con anterioridad, estos diseños se fueron nombrados cada uno según una letra del alfabeto (A-O). De igual manera se recalca que todas las combinaciones propuestas, de esta fase se elaboraron con un porcentaje de cemento del 10%.

#### DISEÑOS PRELIMINARES - I FASE

A B C D E F G H I J K L M N O

### 6.1.1 Alabeo

Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)
A1	1	0	H1	1	0
A2	1	0	H2	1	0
A3	1	0	H3	1	0
B1	1	0	I1	1	0
B2	1	0	I2	1	0
B3	1	0	I3	1	0
C1	1	0	J1	1	0
C2	1	0	J2	1	0
C3	1	0	J3	1	0
D1	1	0	K1	1	0
D2	1	0	K2	1	0
D3	1	0	K3	1	0
E1	1	0	L1	1	0
E2	1	0	L2	1	0
E3	1	0	L3	1	0
F1	1	0	M1	1	0
F2	1	0	M2	1	0
F3	1	0	M3	1	0
G1	1	0	N1	1	0
G2	1	0	N2	1	0
G3	1	0	N3	1	0
			O1	1	0
			O2	1	0
			O3	1	0

Tabla 6-1: Alabeo de los 15 diseños de la I fase

Se observa que para los quince diseños en su totalidad se presenta la misma distorsión convexa en la superficie, con el valor de 1 mm, debido a que su fabricación fue con un mismo molde mecanizado.

### 6.1.2 Variación Dimensional

Especímen	ALTURA (mm)					Hp	H (mm)	70
	H1	H2	H3	H4	Ho		$\sigma$	%
A1	66.00	67.00	66.00	67.00	66.50	68.83	2.25	-1.69
A2	71.00	69.00	67.00	69.00	69.00			
A3	71.00	73.00	70.00	70.00	71.00			
B1	68.00	68.00	70.00	70.00	69.00	69.08	0.88	-1.33
B2	68.00	69.00	68.00	68.00	68.25			
B3	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00			
C1	67.00	68.00	69.00	68.00	68.00	68.17	0.14	-2.69
C2	68.00	69.00	68.00	68.00	68.25			
C3	69.00	68.00	68.00	68.00	68.25			
D1	68.00	69.00	68.00	68.00	68.25	68.50	0.43	-2.19
D2	71.00	69.00	67.00	69.00	69.00			
D3	68.00	69.00	68.00	68.00	68.25			
E1	69.00	67.00	69.00	69.00	68.50	68.25	0.25	-2.56
E2	69.00	67.00	67.00	69.00	68.00			
E3	69.00	68.00	68.00	68.00	68.25			
F1	69.00	67.00	69.00	69.00	68.50	69.25	1.52	-1.08
F2	71.00	73.00	70.00	70.00	71.00			
F3	68.00	69.00	68.00	68.00	68.25			
G1	70.00	72.00	72.00	67.00	70.25	68.58	1.91	-2.07
G2	68.00	68.00	70.00	70.00	69.00			
G3	60.00	69.00	69.00	68.00	66.50			
H1	68.00	69.00	69.00	69.00	68.75	68.36	0.74	-2.40
H2	67.00	67.00	67.00	69.00	67.50			
H3	68.00	67.90	70.00	69.40	68.83			
I1	69.00	69.00	69.00	70.00	69.25	69.83	1.23	-0.24
I2	68.00	69.00	69.00	70.00	69.00			
I3	70.00	71.00	71.00	73.00	71.25			
J1	70.00	69.00	67.00	68.00	68.50	69.00	1.80	-1.45
J2	67.00	67.00	67.00	69.00	67.50			
J3	71.00	73.00	70.00	70.00	71.00			

Especimen	ALTURA (mm)					H (mm)	70	
	H1	H2	H3	H4	Ho	Hp	$\sigma$	%
K1	68.00	69.00	68.00	67.00	68.00	68.75	0.90	-1.82
K2	70.00	69.00	70.00	70.00	69.75			
K3	68.00	69.00	68.00	69.00	68.50			
L1	69.00	69.00	69.00	70.00	69.25	69.25	0.50	-1.08
L2	67.00	69.00	69.00	70.00	68.75			
L3	69.00	70.00	70.00	70.00	69.75			
M1	65.50	65.60	66.70	66.40	66.05	70.56	3.91	0.79
M2	72.00	72.60	74.00	73.00	72.90			
M3	73.20	73.20	72.50	72.00	72.73			
N1	68.00	69.00	69.00	69.00	68.75	68.25	1.09	-2.56
N2	68.00	69.00	69.00	70.00	69.00			
N3	65.00	67.00	67.00	69.00	67.00			
O1	70.90	70.80	70.70	70.50	70.73	70.80	0.12	1.14
O2	71.00	71.00	70.00	71.00	70.75			
O3	71.40	71.30	70.70	70.35	70.94			

H (mm)	Variación	(mm)	(%)
70	Exceso	5	6.67
	Defecto	2	2.94

Tabla 6-2: Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase



Figura 6-1: Medición de un espécimen con vernier

Especímen	ANCHO (mm)						A (mm)	125
	A1	A2	A3	A4	Ao	Ap	$\sigma$	%
A1	126.60	126.80	126.40	126.20	126.50	126.49	0.19	1.18
A2	126.50	126.70	126.90	126.60	126.68			
A3	126.60	126.40	126.10	126.10	126.30			
B1	126.60	126.80	126.40	126.50	126.58	126.57	0.09	1.24
B2	126.40	126.20	126.80	126.50	126.48			
B3	126.20	126.80	126.70	126.90	126.65			
C1	126.20	126.30	126.80	126.60	126.48	126.59	0.10	1.26
C2	126.90	126.80	126.50	126.50	126.68			
C3	126.10	126.70	126.80	126.90	126.63			
D1	126.10	126.50	126.60	126.40	126.40	126.54	0.17	1.22
D2	126.40	126.90	126.10	126.60	126.50			
D3	126.90	126.20	126.90	126.90	126.73			
E1	126.20	126.40	126.90	126.80	126.58	126.52	0.06	1.20
E2	126.80	126.40	126.50	126.10	126.45			
E3	126.80	126.70	126.40	126.20	126.53			
F1	126.40	126.40	126.50	126.40	126.43	126.35	0.07	1.07
F2	126.40	126.30	126.20	126.30	126.30			
F3	126.30	126.70	126.20	126.10	126.33			
G1	126.80	126.30	126.30	126.40	126.45	126.45	0.17	1.15
G2	126.30	126.20	126.10	126.50	126.28			
G3	126.70	126.40	126.80	126.60	126.63			
H1	126.20	126.80	126.60	126.80	126.60	126.53	0.15	1.21
H2	126.50	126.80	126.70	126.50	126.63			
H3	126.80	126.20	126.10	126.30	126.35			
I1	126.50	126.70	126.70	126.80	126.68	126.52	0.18	1.20
I2	126.60	126.30	126.30	126.10	126.33			
I3	126.90	126.30	126.60	126.40	126.55			
J1	126.90	126.20	126.10	126.80	126.50	126.54	0.17	1.22
J2	126.40	126.10	126.20	126.90	126.40			
J3	126.60	126.80	126.80	126.70	126.73			

Especimen	ANCHO (mm)						A (mm)	125
	A1	A2	A3	A4	Ao	Ap	$\sigma$	%
K1	126.60	126.10	126.10	126.90	126.43	126.58	0.16	1.25
K2	126.30	126.80	126.30	126.90	126.58			
K3	126.50	126.70	126.90	126.90	126.75			
L1	126.70	126.90	126.50	126.90	126.75	126.75	0.10	1.38
L2	126.90	126.90	126.90	126.70	126.85			
L3	126.80	126.30	126.80	126.70	126.65			
M1	126.60	126.70	126.40	126.90	126.65	126.60	0.05	1.26
M2	126.70	126.20	126.40	126.90	126.55			
M3	126.40	126.90	126.30	126.80	126.60			
N1	126.70	126.80	126.70	126.40	126.65	126.49	0.14	1.18
N2	126.10	126.50	126.40	126.60	126.40			
N3	126.90	126.10	126.20	126.50	126.43			
O1	126.80	126.20	126.10	126.30	126.35	126.44	0.10	1.14
O2	126.90	126.40	126.50	126.40	126.55			
O3	126.10	126.70	126.70	126.20	126.43			

A (mm)	Variación	(mm)	(%)
125	Exceso	5	3.85
	Defecto	2	1.63

Tabla 6-3: Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Especímen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	$\sigma$	%
A1	251.10	251.10	251.90	251.30	251.35	251.53	0.24	0.61
A2	251.10	251.70	251.40	251.60	251.45			
A3	251.90	251.90	251.50	251.90	251.80			
B1	251.90	251.70	251.80	251.20	251.65	251.55	0.13	0.62
B2	251.30	251.60	251.60	251.10	251.40			
B3	251.40	251.40	251.70	251.90	251.60			
C1	251.20	251.10	251.60	251.10	251.25	251.37	0.10	0.54
C2	251.50	251.40	251.30	251.60	251.45			
C3	251.30	251.50	251.50	251.30	251.40			
D1	251.30	251.20	251.40	251.60	251.38	251.44	0.16	0.57
D2	251.20	251.10	251.90	251.10	251.33			
D3	251.90	251.40	251.40	251.80	251.63			
E1	251.30	251.80	251.70	251.20	251.50	251.48	0.07	0.59
E2	251.60	251.50	251.30	251.20	251.40			
E3	251.10	251.60	251.70	251.70	251.53			
F1	251.70	251.10	251.60	251.80	251.55	251.42	0.17	0.56
F2	251.30	251.10	251.10	251.40	251.23			
F3	251.70	251.30	251.50	251.40	251.48			
G1	251.10	251.70	251.70	251.40	251.48	251.47	0.14	0.58
G2	251.20	251.90	251.50	251.80	251.60			
G3	251.10	251.10	251.60	251.50	251.33			
H1	251.90	251.70	251.10	251.20	251.48	251.66	0.18	0.66
H2	251.80	251.80	251.80	251.90	251.83			
H3	251.70	251.90	251.80	251.30	251.68			
I1	251.60	251.40	251.70	251.40	251.53	251.51	0.05	0.60
I2	251.30	251.60	251.90	251.40	251.55			
I3	251.80	251.20	251.20	251.60	251.45			
J1	251.70	251.30	251.70	251.40	251.53	251.58	0.06	0.63
J2	251.60	251.50	251.70	251.80	251.65			
J3	251.30	251.60	251.70	251.70	251.58			

Espécimen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	$\sigma$	%
K1	251.50	251.70	251.40	251.50	251.53	251.46	0.12	0.58
K2	251.50	251.10	251.60	251.10	251.33			
K3	251.40	251.10	251.80	251.80	251.53			
L1	251.60	251.90	251.80	251.30	251.65	251.63	0.13	0.65
L2	251.50	251.90	251.20	251.40	251.50			
L3	251.80	251.70	251.60	251.90	251.75			
M1	251.70	251.30	251.80	251.50	251.58	251.62	0.04	0.64
M2	251.10	251.80	251.70	251.90	251.63			
M3	251.80	251.80	251.10	251.90	251.65			
N1	251.40	251.80	251.90	251.30	251.60	251.56	0.04	0.62
N2	251.70	251.50	251.70	251.20	251.53			
N3	251.80	251.30	251.20	251.90	251.55			
O1	251.80	251.30	251.30	251.70	251.53	251.48	0.17	0.59
O2	251.10	251.70	251.80	251.90	251.63			
O3	251.20	251.40	251.20	251.40	251.30			

L (mm)	Variación	(mm)	(%)
250	Exceso	5	1.96
	Defecto	2	0.81

Tabla 6-4: Variación dimensional del largo de los 15 diseños de la I fase

En las tablas 6.2, 6.3 y 6.4 se muestran los resultados promedios para los 15 diseños preliminares, para cada medida; altura, ancho y largo respectivamente. Se pueden observar variaciones mínimas con respecto a las medidas nominales.

Para la medida de altura dentro del orden de 1.14% de variación por exceso y 2.69% de variación por defecto. Respecto a la medida de ancho, 1.26% de variación por exceso. Y finalmente para el largo 0.66% de variación por exceso.

Los parámetros de comparación se presentan en las mismas tablas, los cuales se tomaron de referencia de la norma española UNE 41410.

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con los límites establecidos.

6.1.3 Resistencia a la Compresión

PROBETA COD.	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm <sup>3</sup> )	V. Huecos (cm <sup>3</sup> )	V. Neto (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	7	10	12.48	25.10	6.90	2160.55	489.48	1671.07	242.18	16650	68.75	67.48
A2	7	10	12.58	25.20	6.65	2107.32	473.89	1633.43	245.63	16140	65.71	
A3	7	10	12.60	25.28	6.90	2197.41	489.48	1707.93	247.53	16590	67.02	
A4	7	10	12.50	25.10	7.10	2227.63	501.95	1725.68	243.05	16610	68.34	
B1	7	10	12.50	25.10	6.90	2164.88	489.48	1675.40	242.81	18800	77.43	75.28
B2	7	10	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	18140	74.74	
B3	7	10	12.50	25.10	7.00	2196.25	495.71	1700.54	242.93	17900	73.68	
C1	7	9	12.40	25.10	6.80	2116.43	483.24	1633.19	240.17	16700	69.53	70.90
C2	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	17340	71.44	
C3	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	17410	71.73	
D1	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	14190	58.46	61.36
D2	7	9	12.50	25.00	6.90	2156.25	489.48	1666.77	241.56	14870	61.56	
D3	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	15550	64.07	
E1	7	9	12.50	25.10	6.85	2149.19	486.36	1662.83	242.75	15490	63.81	61.24
E2	7	9	12.50	25.10	6.80	2133.50	483.24	1650.26	242.68	14460	59.58	
E3	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	14640	60.32	
F1	7	9	12.50	25.10	6.85	2149.19	486.36	1662.83	242.75	18450	76.00	73.65
F2	7	9	12.50	25.10	7.10	2227.63	501.95	1725.68	243.05	17680	72.74	
F3	7	9	12.50	25.10	6.83	2141.34	484.80	1656.54	242.72	17530	72.22	
G1	7	9	12.50	25.10	7.03	2204.09	497.27	1706.82	242.96	22110	91.00	88.88
G2	7	9	12.50	25.10	6.90	2164.88	489.48	1675.40	242.81	23230	95.67	
G3	7	9	12.50	25.10	6.65	2086.44	473.89	1612.55	242.49	19300	79.59	

Capítulo 6. Resultados y Análisis

PROBETA COD.	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm <sup>3</sup> )	V. Huecos (cm <sup>3</sup> )	V. Neto (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
H1	7	9	12.60	25.10	6.88	2174.29	487.92	1686.37	245.29	15690	63.97	57.94
H2	7	9	12.50	25.10	6.75	2117.81	480.13	1637.69	242.62	13330	54.94	
H3	7	9	12.60	25.10	6.88	2176.66	488.39	1688.27	245.30	13460	54.87	
I1	7	9	12.60	25.10	6.93	2190.10	491.04	1699.06	245.35	19860	80.94	81.25
I2	7	9	12.60	25.10	6.90	2182.19	489.48	1692.72	245.32	20950	85.40	
I3	7	9	12.60	25.10	7.13	2253.35	503.51	1749.85	245.59	19040	77.53	
J1	7	9	12.50	25.10	6.85	2149.19	486.36	1662.83	242.75	20100	82.80	80.47
J2	7	9	12.60	25.10	6.75	2134.76	480.13	1654.63	245.13	19490	79.51	
J3	7	9	12.58	25.10	7.10	2240.99	501.95	1739.04	244.94	19380	79.12	
K1	7	9	12.53	25.10	6.80	2137.77	483.24	1654.52	243.31	15010	61.69	61.18
K2	7	9	12.50	25.10	6.98	2188.41	494.15	1694.25	242.90	15410	63.44	
K3	7	9	12.50	25.10	6.85	2149.19	486.36	1662.83	242.75	14170	58.37	
L1	7	9	12.50	25.10	6.93	2172.72	491.04	1681.68	242.84	15750	64.86	66.88
L2	7	9	12.50	25.10	6.88	2157.03	487.92	1669.11	242.78	16320	67.22	
L3	7	9	12.50	25.10	6.98	2188.41	494.15	1694.25	242.90	16650	68.55	
M1	7	9	12.50	25.10	6.61	2072.32	471.09	1601.23	242.43	13850	57.13	57.04
M2	7	9	12.50	25.10	7.29	2287.24	513.79	1773.45	243.27	14160	58.21	
M3	7	9	12.50	25.10	7.27	2281.75	512.70	1769.05	243.25	13570	55.79	
N1	7	9	12.50	25.10	6.88	2157.03	487.92	1669.11	242.78	17330	71.38	72.75
N2	7	9	12.50	25.10	6.90	2164.88	489.48	1675.40	242.81	18040	74.30	
N3	7	9	12.50	25.10	6.70	2102.13	477.01	1625.12	242.55	17600	72.56	
O1	7	9	12.53	25.10	7.07	2223.43	500.23	1723.20	243.65	9460	38.83	38.30
O2	7	9	12.50	25.10	7.08	2219.78	500.39	1719.39	243.02	9530	39.21	
O3	7	9	12.50	25.10	7.09	2225.66	501.56	1724.11	243.05	8960	36.87	

Tabla 6-5: Resistencia a la compresión de los 15 diseños de la I fase

a) Comparación de la resistencia a la compresión según relación en peso arena/arcilla considerando 20% de limo constante.

DISEÑO	RAZÓN		LIMO 20%		Relación arena/arcilla		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
	ARENA		ARCILLA	LIMO			
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI			
C	50%		30%	20%	5.0 : 3.0	1.67	70.90
	100%	0%	100%	100%			
G	55%		25%	20%	5.5 : 2.5	2.2	88.88
	100%	0%	100%	100%			
F	60%		20%	20%	6.0 : 2.0	3.00	73.65
	100%	0%	100%	100%			
H	65%		15%	20%	6.5 : 1.5	4.3	57.94
	100%	0%	100%	100%			

Tabla 6-6: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/arcilla

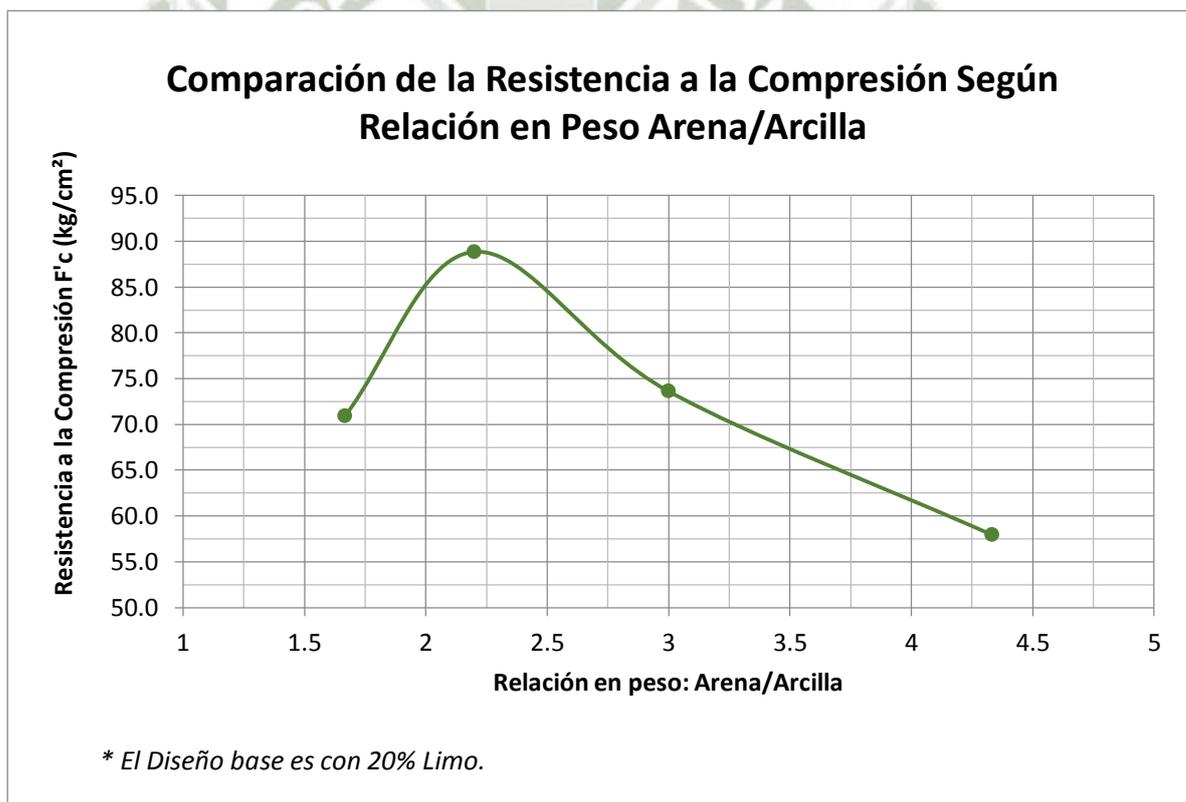


Gráfico 6-1: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/arcilla

En el diseño con 20% de Limo constante, la mejor proporción entre arena y arcillas es la de 5.5:2.5, una proporción tanto mayor como menor no aporta tan buenos resultados.

**b) Comparación de la resistencia a la compresión según relación en peso arcilla/limo**

DISEÑO	RAZÓN		ARENA 50%		Relación arcilla/limo		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
	ARENA		ARCILLA	LIMO			
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI			
C	50%		30%	20%	3.0 : 2.0	1.50	70.90
	100%	0%	100%	100%			
B	50%		25%	25%	2.5 : 2.5	1.00	75.28
	100%	0%	100%	100%			
K	50%		20%	30%	2.0 : 3.0	0.67	61.18
	100%	0%	100%	100%			

Tabla 6-7: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arcilla/limo

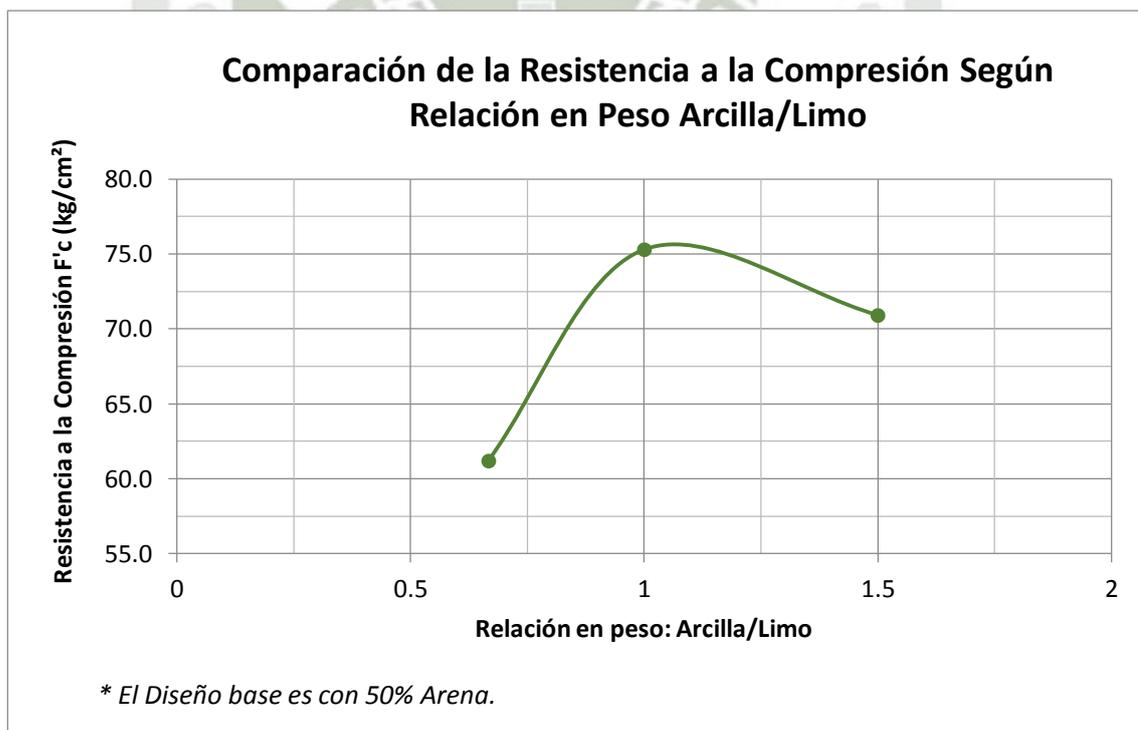


Gráfico 6-2: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arcilla/limo

Se puede apreciar que el diseño B (25% Limo, 25% Arcilla y 50% arena) cuenta con una resistencia mayor en esta comparaciones, dando los diseños con las relaciones de 0.67 y 1.5 elementos con menores resistencia a la compresión.

**c) Comparación de la resistencia a la compresión según relación en peso arena/limo**

DISEÑO.	RAZÓN		ARCILLA 25%		Relación arena/limo		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
	ARENA		ARCILLA	LIMO			
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI			
B	50%		25%	25%	5 : 2.5	2.00	38.30
	100%	0%	100%	100%			
G	55%		25%	20%	5.5 : 2	2.75	88.88
	100%	0%	100%	100%			
I	60%		25%	15%	6 : 1.5	4.00	81.25
	100%	0%	100%	100%			
J	65%		25%	10%	6.5 : 1	6.50	80.47
	100%	0%	100%	100%			

Tabla 6-8: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/limo

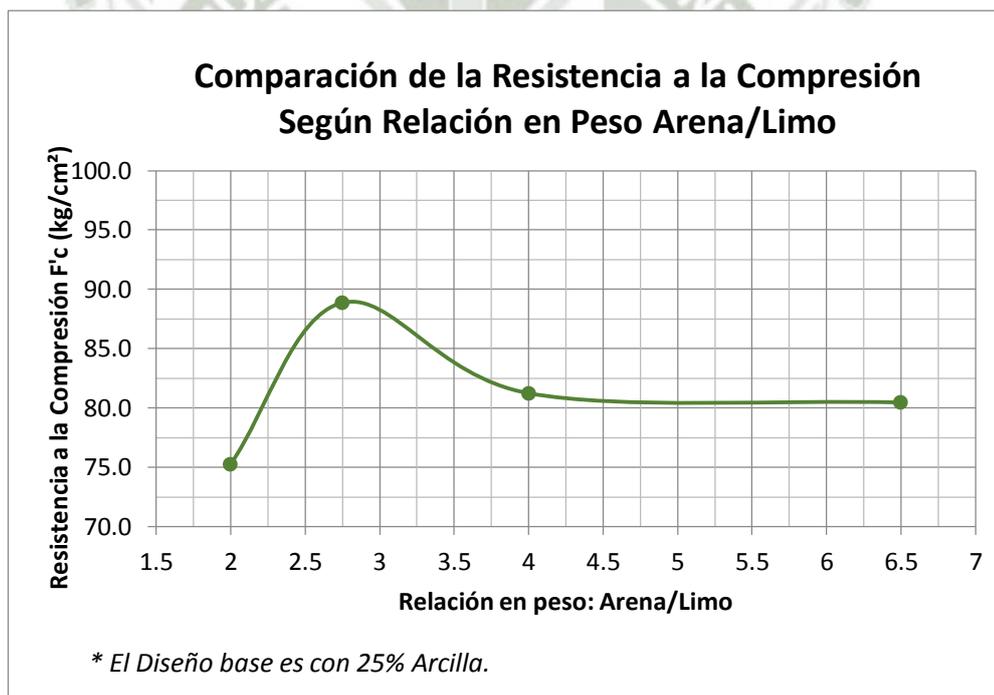


Gráfico 6-3: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/limo

La proporción más acertada en un diseño con porcentaje base de 25% de Arcilla constante es la de 5.5:2, 55% Arena y 20% limo. Las proporciones cercanas a esta dan valores de resistencia a compresión de menor valor.

**d) Comparación de la resistencia a la compresión según el diámetro de las partículas de arcilla**

DISEÑO	RAZÓN		DÍAMETRO PART. ARCILLA		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
	ARENA		ARCILLA	LIMO	
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI	
C	50%		30%	20%	70.90
	100%	0%	100%	100%	
E	50%		30% *	20%	61.24
	100%	0%	100%	100%	

Tabla 6-9: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en el tamaño de partícula de arcilla

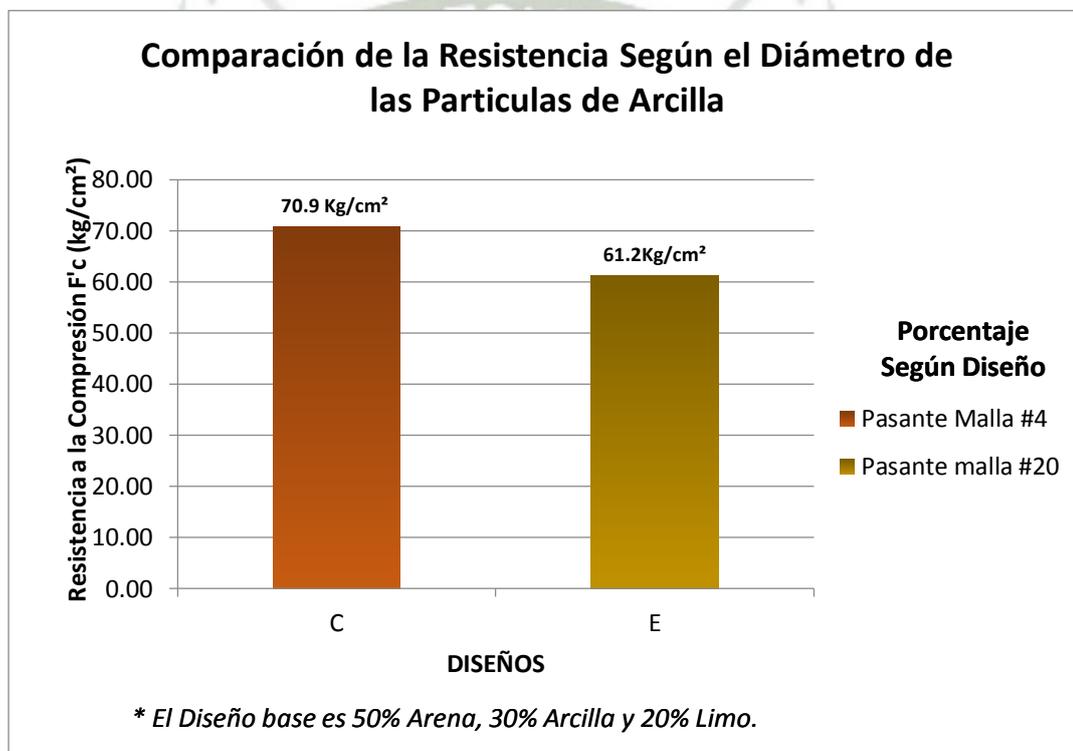


Gráfico 6-4: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en el tamaño de partícula de arcilla

Podemos ver que la arcilla al triturarse a un tamaño más fino, no logra buena resistencia en comparación con el diseño que cuenta con terrones de diámetros mayores, es por esto que decidimos elegir tanto por comodidad como por resultados presentados al tamaño máximo nominal de 4.75mm (malla #4)

e) Comparación de la resistencia a la compresión según la procedencia de la arena

DISEÑO	RAZÓN		COMPARACIÓN ARENA PROCEDENCIA		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
	ARENA		ARCILLA	LIMO	
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI	
D	50%		30%	20%	61.36
	0%	100%	100%	100%	
C	50%		30%	20%	70.90
	100%	0%	100%	100%	
L	50%		30%	20%	66.88
	50%	50%	100%	100%	

Tabla 6-10: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en la procedencia de la arena

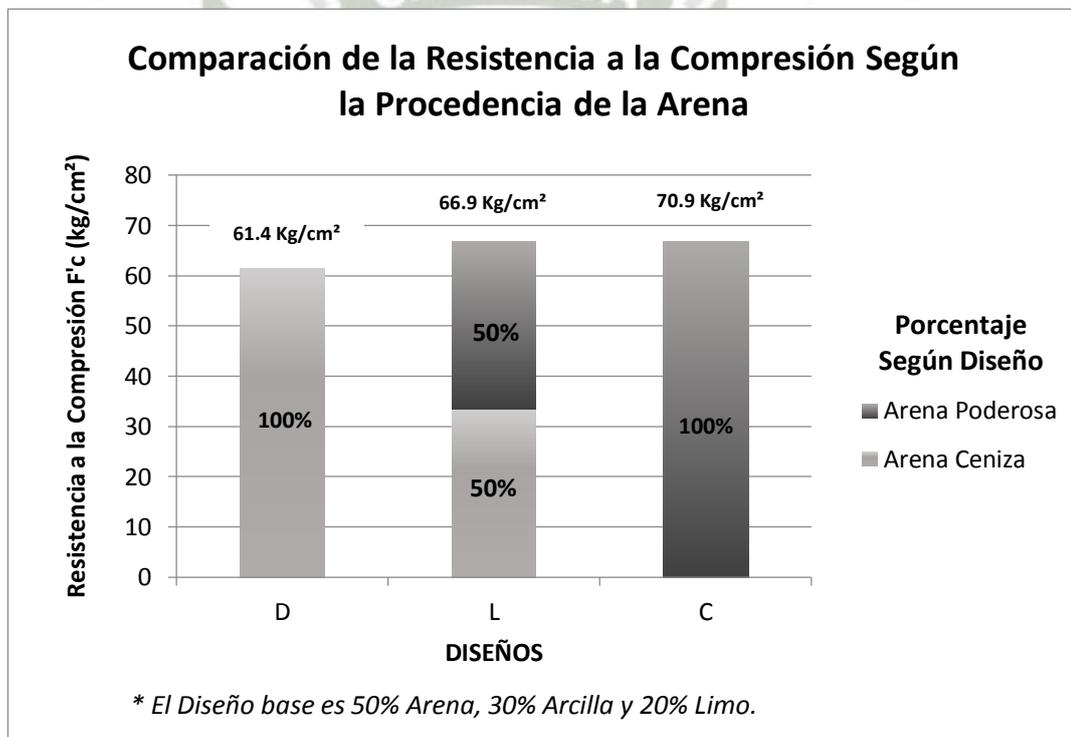


Gráfico 6-5: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en la procedencia de la arena

Se puede apreciar en esta comparación que la procedencia de arena influye en la resistencia a la compresión de los ladrillos, es por esto que se eligió la arena de la Poderosa, que cuenta con una granulometría mejor gradada. La arena ceniza fue descartada en los siguientes diseños por este motivo.

f) Resistencia a la Compresión Diseños

RAZÓN		FUENTE			f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
DISEÑO.	ARENA		ARCILLA	LIMO	
	PONDEROSA	CENIZA	YARABAMBA	POCSI	
ICG.	70%		30%	0%	72.75
	50%	50%	100%	100%	
TUCUMAN	30%		10%	60%	38.30
	100%	0%	100%	100%	
JUJUI	70%		20%	10%	67.48
	100%	0%	100%	100%	
HIDRAFORM	75%		10%	15%	57.04
	50%	50%	100%	50%	

Tabla 6-11: Resistencia a la compresión entre diseños base con dosificaciones extremas

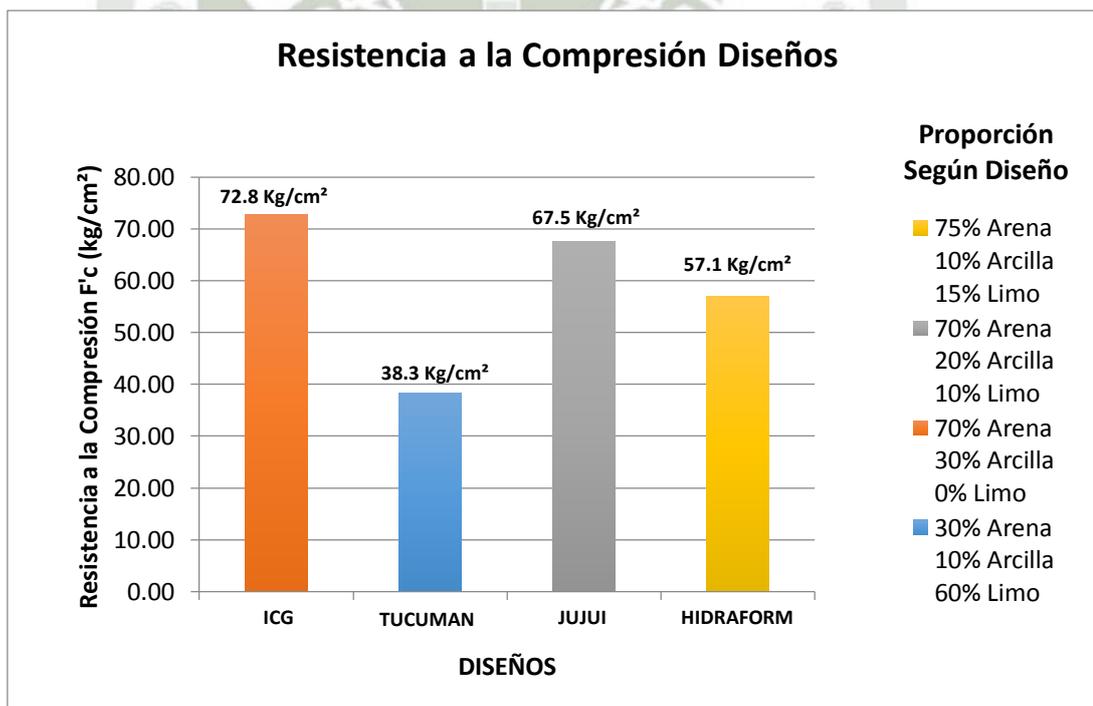


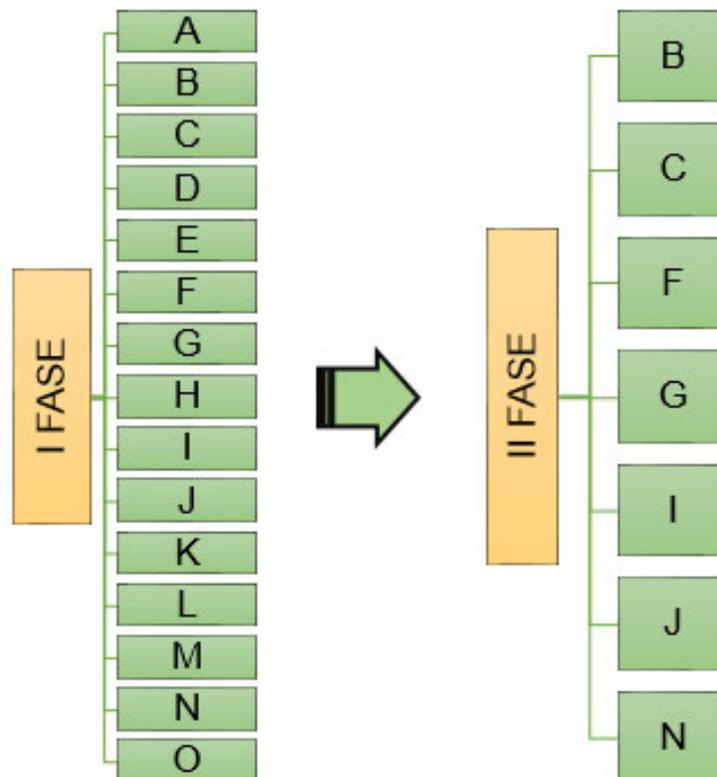
Gráfico 6-6: Resistencia a la compresión entre diseños base con dosificaciones extremas

Se tomaron consideraciones especiales con las proporciones propuestas por algunas investigaciones previas, puesto que considerando en algunos casos para la arena o para los limos valores superiores al 50%. No obstante cabe resaltar que la arcilla siempre se mantiene a un 10% como mínimo, condición propuesta en la norma UNE 41410.

## 6.2 FASE II

De manera similar, para esta segunda fase se muestran los resultados referentes a los 7 diseños seleccionados a partir de la primera fase, no obstante, conforme se fue analizando los resultados se advirtió que se podía disminuir el contenido de cemento a un 8%. Se continúa con la línea de selección en base a las pruebas clasificatorias:

- a. Alabeo.
- b. Variación dimensional.
- c. Resistencia a la compresión.



### 6.2.1 Alabeo

Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)
B1	1	
B2	1	
B3	1	
C1	1	
C2	1	
C3	1	
F1	1	
F2	1	
F3	1	
G1	1	
G2	1	
G3	1	
I1	1	
I2	1	
I3	1	
J1	1	
J2	1	
J3	1	
N1	1	
N2	1	
N3	1	



Figura 6-2: Medición del alabeo

Tabla 6-12: Alabeo de los 07 diseños de la II fase

Se observa que para los diseños de la segunda fase, de la misma manera se presenta una distorsión convexa en la superficie, con el valor de 1 mm, se atribuye el resultado al molde de la máquina para la fabricación de los ladrillos.

## 6.2.2 Variación Dimensional

Especímen	ALTURA (mm)						H (mm)	70
	H1	H2	H3	H4	Ho	Hp	$\sigma$	%
B1	69.00	68.40	68.50	69.70	68.90	70.22	1.55	0.31
B2	72.20	71.35	71.35	72.80	71.93			
B3	70.00	69.90	69.50	69.90	69.83			
C1	68.30	69.20	67.90	67.90	68.33	68.50	0.40	-2.20
C2	68.80	69.40	70.00	67.60	68.95			
C3	68.80	66.60	69.90	67.55	68.21			
F1	68.95	67.30	68.30	67.20	67.94	68.65	0.62	-1.97
F2	69.20	68.70	69.80	68.70	69.10			
F3	68.30	68.40	69.50	69.40	68.90			
G1	71.30	70.20	71.60	71.60	71.18	70.80	0.36	1.12
G2	71.20	71.80	69.90	70.10	70.75			
G3	70.25	71.60	69.50	70.50	70.46			
I1	69.30	68.90	69.45	68.70	69.09	69.42	0.55	-0.83
I2	70.10	70.05	70.06	70.03	70.06			
I3	69.50	68.70	68.50	69.80	69.13			
J1	69.10	69.90	70.10	70.05	69.79	69.81	0.08	-0.27
J2	69.90	69.55	70.03	70.10	69.90			
J3	69.70	69.80	69.80	69.70	69.75			
N1	69.30	69.25	71.60	71.25	70.35	69.48	0.76	-0.74
N2	69.70	69.10	68.10	68.80	68.93			
N3	70.00	69.20	68.50	69.00	69.18			

H (mm)	Variación	(mm)	(%)
70	Exceso	5	6.67
	Defecto	2	2.94

Tabla 6-13: Variación dimensional de la altura de los 07 diseños de la II fase

Especimen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	$\sigma$	%
B1	251.50	251.20	251.90	251.70	251.58	251.49	0.09	0.59
B2	251.10	251.90	251.60	251.40	251.50			
B3	251.70	251.30	251.40	251.20	251.40			
C1	251.60	251.10	251.10	251.60	251.35	251.36	0.04	0.54
C2	251.20	251.80	251.30	251.30	251.40			
C3	251.40	251.40	251.20	251.30	251.33			
F1	251.80	251.20	251.40	251.80	251.55	251.61	0.10	0.64
F2	251.50	251.90	251.50	251.30	251.55			
F3	251.70	251.40	251.90	251.90	251.73			
G1	251.30	251.60	251.50	251.20	251.40	251.52	0.10	0.60
G2	251.50	251.60	251.70	251.40	251.55			
G3	251.20	251.60	251.80	251.80	251.60			
I1	251.10	251.20	251.10	251.60	251.25	251.45	0.17	0.58
I2	251.60	251.80	251.40	251.40	251.55			
I3	251.60	251.70	251.40	251.50	251.55			
J1	251.10	251.10	251.10	251.50	251.20	251.35	0.13	0.54
J2	251.60	251.30	251.50	251.20	251.40			
J3	251.20	251.20	251.90	251.50	251.45			
N1	251.70	251.90	251.10	251.20	251.48	251.52	0.17	0.60
N2	251.20	251.20	251.40	251.70	251.38			
N3	251.90	251.70	251.40	251.80	251.70			

L (mm)	Variación	(mm)	(%)
250	Exceso	5	1.96
	Defecto	2	0.81

Tabla 6-14: Variación dimensional del largo de los 07 diseños de la II fase

Especimen	ANCHO (mm)						A (mm)	125
	A1	A2	A3	A4	Ao	Ap	$\sigma$	%
B1	126.8	126.6	126.2	126.2	126.45	126.49	0.07	1.18
B2	126.9	126.8	126.2	126.4	126.58			
B3	126.9	126.1	126.4	126.4	126.45			
C1	126.5	126.1	126.3	126.7	126.40	126.67	0.23	1.32
C2	126.9	126.6	126.9	126.8	126.80			
C3	126.9	126.8	126.8	126.7	126.80			
F1	126.8	126.2	126.4	126.8	126.55	126.55	0.23	1.22
F2	126.7	126.9	126.7	126.8	126.78			
F3	126.2	126.1	126.6	126.4	126.33			
G1	126.5	126.7	126.8	126.5	126.63	126.43	0.17	1.13
G2	126.8	126.2	126.1	126.3	126.35			
G3	126.3	126.2	126.4	126.3	126.30			
I1	126.9	126.3	126.5	126.9	126.65	126.52	0.19	1.20
I2	126.5	126.1	126.3	126.3	126.30			
I3	126.2	126.8	126.9	126.5	126.60			
J1	126.9	126.2	126.1	126.1	126.33	126.42	0.18	1.12
J2	126.2	126.9	126.9	126.5	126.63			
J3	126.3	126.1	126.5	126.3	126.30			
N1	126.2	126.6	126.6	126.2	126.40	126.53	0.11	1.21
N2	126.2	126.7	126.7	126.7	126.58			
N3	126.2	126.8	126.9	126.5	126.60			

A (mm)	Variación	(mm)	(%)
125	Exceso	5	3.85
	Defecto	2	1.63

Tabla 6-15: Variación dimensional del ancho de los 07 diseños de la II fase

Se continúa con el mecanismo de la primera fase, en las tablas 6.13, 6.14 y 6.15 se muestran los resultados promedios, para cada medida; altura, ancho y largo respectivamente. Para la medida de altura dentro del orden de 1.12% de variación por exceso y 2.20% de variación por defecto. Respecto a la medida de ancho, 1.32% de variación por exceso. Y finalmente para el largo 0.64% de variación por exceso.

Los parámetros de comparación se presentan en las mismas tablas, los cuales se tomaron de referencia de la norma española UNE 41410. Los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con los límites establecidos.



Figura 6-3: Toma de medidas de un espécimen

### 6.2.3 Resistencia a la Compresión

PROBETA	Curado	Edad	Ancho	Largo	Altura	V. Bruto	V. Huecos	V. Neto	Área	Fuerza	f'c	f'c
COD.	(días)	(días)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
B1	7	9	12.65	25.16	6.89	2191.82	488.85	1702.97	247.17	11790	47.70	61.21
B2	7	9	12.66	25.15	7.19	2289.63	507.71	1781.92	247.75	17370	70.11	
B3	7	9	12.65	25.14	6.98	2219.70	494.62	1725.08	247.06	16260	65.81	
C1	7	9	12.64	25.14	6.83	2170.73	485.27	1685.46	246.68	15660	63.48	58.73
C2	7	9	12.68	25.14	6.90	2197.96	489.17	1708.79	247.83	14200	57.30	
C3	7	9	12.68	25.13	6.82	2173.80	484.57	1689.23	247.64	13720	55.40	
F1	7	9	12.66	25.16	6.79	2162.70	482.85	1679.85	247.26	13400	54.19	61.77
F2	7	9	12.68	25.16	6.91	2203.62	490.10	1713.52	247.98	17870	72.06	
F3	7	9	12.63	25.17	6.89	2190.96	488.85	1702.11	247.04	14590	59.06	
G1	7	9	12.66	25.14	7.12	2265.75	503.04	1762.71	247.66	18010	72.72	74.27
G2	7	9	12.64	25.16	7.08	2248.67	500.39	1748.28	247.11	18770	75.96	
G3	7	9	12.63	25.16	7.05	2239.09	498.60	1740.50	247.01	18310	74.13	
I1	7	9	12.67	25.13	6.91	2198.42	490.02	1708.40	247.28	16720	67.62	67.29
I2	7	9	12.63	25.16	7.01	2225.86	496.09	1729.77	246.90	16490	66.79	
I3	7	9	12.66	25.16	6.91	2201.37	490.26	1711.11	247.54	16700	67.46	
J1	7	9	12.63	25.12	6.98	2214.56	494.39	1720.17	246.49	18530	75.18	72.35
J2	7	9	12.66	25.14	6.99	2225.00	495.06	1729.95	247.51	18140	73.29	
J3	7	9	12.63	25.15	6.98	2215.13	494.15	1720.98	246.74	16920	68.58	
N1	7	9	12.64	25.15	7.04	2236.18	497.89	1738.28	247.09	15480	62.65	57.82
N2	7	9	12.66	25.14	6.89	2193.04	489.01	1704.03	247.23	14500	58.65	
N3	7	9	12.66	25.17	6.92	2204.28	490.57	1713.71	247.74	12920	52.15	

Tabla 6-16: Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase

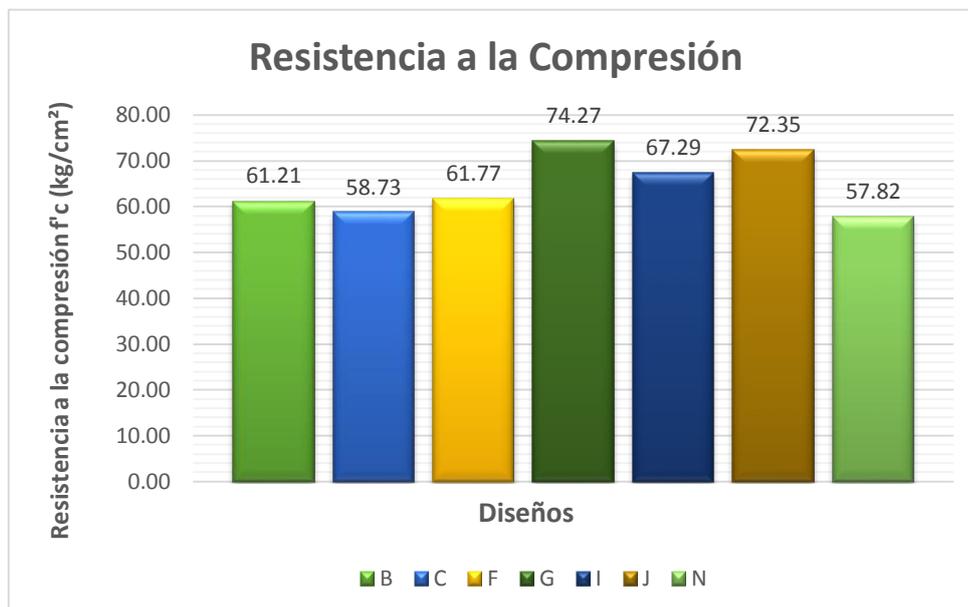
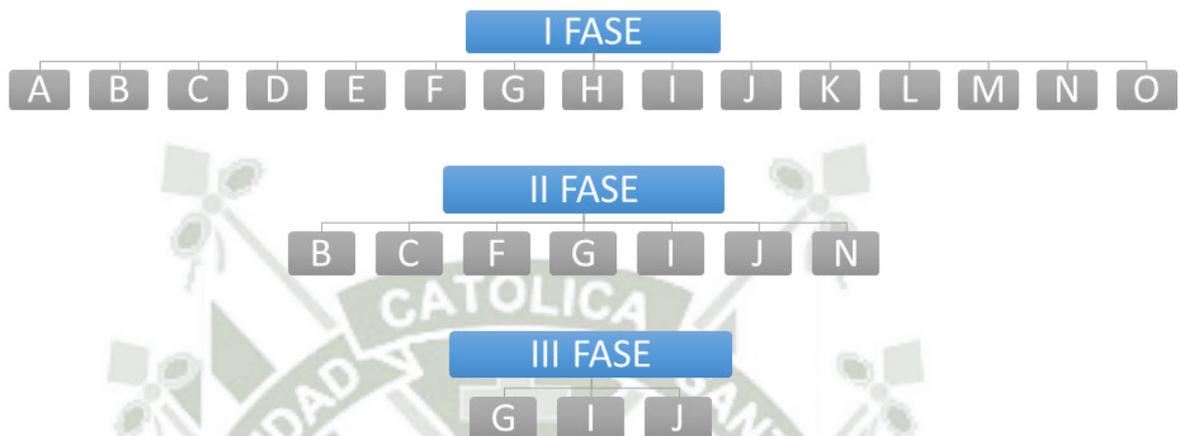


Gráfico 6-7: Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase

De todas las combinaciones ensayadas en esta segunda fase, las que mejores resultados obtienen son los diseños “G”, “J” e “I”, con resistencias a la compresión de 74.27 kg/cm<sup>2</sup>, 72.35 kg/cm<sup>2</sup> y 67.29 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

### 6.3 FASE III

Por último en esta fase se presenta los resultados referentes a los diseños definitivos G, I y J.



Debido a que los resultados respecto a la comprensión de la segunda fase cumplían satisfactoriamente con lo señalado tanto en las normas peruanas E.080 - E.070 y la norma española UNE 41410, se optó por realizar una prueba reduciendo el porcentaje de cemento en el Diseño J.

En base a los resultados obtenidos de esta prueba se establecen los lineamientos para los diseños finales, los cuales se precisan a continuación:

DISEÑOS	TIEMPO DE CURADO	PORCENTAJE DE CEMENTO
G	7 Días	8 %
I	7 Días	8%
J	7 Días	6%

A pesar que los diseños G e I aparentemente poseen los mismos lineamientos, el diseño I tuvo un mal curado debido a exceso de agua, lo cual se controló en el transcurso de la experimentación para los diseños G y J.

Es importante resaltar que el diseño I se elaboró primero, lo cual permitió que se corrija el defecto del curado en los dos siguientes diseños.

Se comprobó el efecto de la forma de curado con otra prueba adicional en el diseño I, en la cual para un mismo tiempo de curado a un espécimen se cubrió con una manta polar húmeda cada día, mientras que a un segundo espécimen se roció directamente con agua sobre la manta polar.

Para cumplir satisfactoriamente con los ensayos necesarios, se fabricó aproximadamente cien unidades por diseño, siendo las pruebas realizadas las siguientes:

- a. Alabeo.
- b. Variación dimensional.
- c. Resistencia a la compresión para unidades, pilas y muretes.
- d. Densidad.
- e. Absorción.
- f. Succión.
- g. Humectación y Secado.
- h. Erosión Acelera
- i. Contenido de Impurezas Orgánicas

### 6.3.1 Pruebas Adicionales

#### a) Variación en el porcentaje de cemento

PROBETA	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm <sup>3</sup> )	V. Huecos (cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
COD.												
J1 - 0%	0	9	12.64	25.15	6.75	2143.33	479.89	1663.44	246.57	6020	24.41	23.46
J2 - 0%	0	9	12.67	25.16	6.75	2152.31	480.36	1671.95	247.56	5920	23.91	
J3 - 0%	0	9	12.66	25.14	6.87	2185.85	487.68	1698.16	247.14	5450	22.05	
J4 - 4%	7	9	12.66	25.16	7.02	2234.37	496.80	1737.56	247.60	5790	23.38	20.61
J5 - 4%	7	9	12.66	25.14	7.12	2266.32	503.19	1763.13	247.63	4550	18.37	
J6 - 4%	7	9	12.63	25.15	7.07	2245.97	500.08	1745.89	246.94	4960	20.09	
J7 - 6%	7	9	12.65	25.16	7.17	2280.55	506.15	1774.40	247.56	11040	44.59	45.72
J8 - 6%	7	9	12.65	25.13	7.18	2280.22	506.62	1773.60	247.19	11580	46.85	
J9 - 8%	7	9	12.63	25.12	6.98	2214.56	494.39	1720.17	246.49	18530	75.18	72.35
J10 - 8%	7	9	12.66	25.14	6.99	2225.00	495.06	1729.95	247.51	18140	73.29	
J11 - 8%	7	9	12.63	25.15	6.98	2215.13	494.15	1720.98	246.74	16920	68.58	

Tabla 6-17: Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento

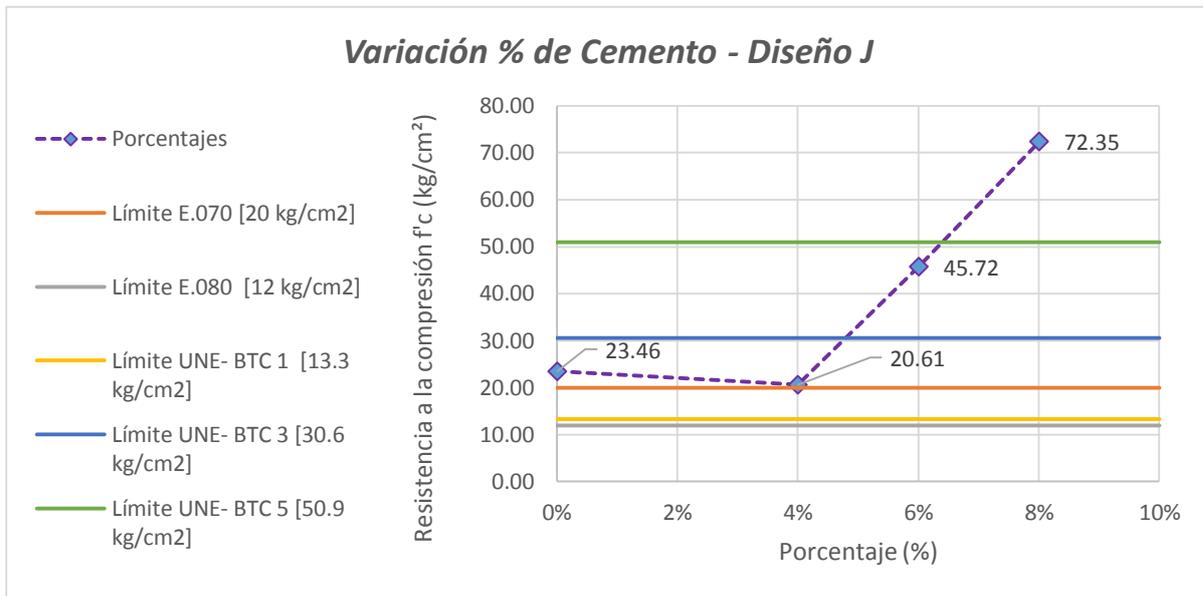


Gráfico 6-8: Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento

Como se puede observar claramente en la gráfica 6-8 la variación de la resistencia a la compresión incrementa a partir de la adición de cemento mayor a 4%. Además se observa que es preferible no adicionar cemento en porcentajes menores al 4%, ya que la resistencia decrece.

Debido a que para una adición de cemento al 8% la resistencia cumple satisfactoriamente los límites un 30% más que el mayor valor, se propone utilizar cemento al 6%, de esta forma se cumple los límites que establecen las normas peruanas y se considera como un bloque tipo 3, para la norma española.

**b) Efecto de la forma de curado**

Espécimen	Curado	Edad	Ancho	Largo	Altura		Área	Fuerza	f'c	f'c
COD.	(días)	(días)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
I-1 Mal Curado	7	9	12.64	25.15	7.10	1755.79	247.29	11340	45.86	45.28
I-2 Mal Curado	7	9	12.68	25.14	7.09	1759.24	248.13	11080	44.65	
I-3 Mal Curado	7	9	12.66	25.16	7.11	1761.28	247.81	11230	45.32	
I-4 Buen Curado	7	9	12.65	25.14	7.08	1749.83	247.33	15800	63.88	66.28
I-5 Buen Curado	7	9	12.66	25.14	7.04	1742.63	247.44	16610	67.13	
I-6 Buen Curado	7	9	12.67	25.14	6.93	1716.66	247.63	16800	67.84	

Tabla 6-18: Resistencia a la compresión del diseño I con diferente forma de curado

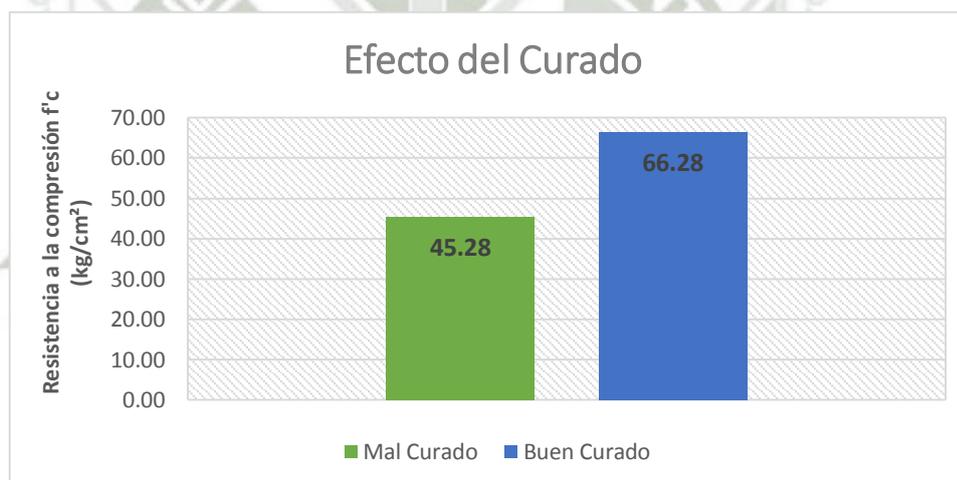


Gráfico 6-9: Resistencia a la compresión del diseño I con diferente forma de curado

En la gráfica 6-9, se muestra la variación de la resistencia a la compresión, cuando se modifica la forma de curado. Lo cual nos revela la gran importancia de proceder con este adecuadamente.

Cuando se tuvo un curado con manta polar humedecida se alcanzó una resistencia de 66.28 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el curado echando agua directamente a la manta encima de los ladrillos la resistencia desciende a 45.28 kg/cm<sup>2</sup>. Se puede inferir que la resistencia se ve afectada hasta en un 32%.

### 6.3.2 Alabeo

#### a) Diseño "G"

DISEÑO "G"		
Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)
G-1	1	0
G-2	1	0
G-3	1	0
G-4	1	0
G-5	1	0
G-6	1	0
G-7	1	0
G-8	1	0
G-9	1	0
G-10	1	0
<b>Promedio</b>	1	0

Tabla 6-19: Alabeo diseño G fase III

#### b) Diseño "I"

DISEÑO "I"		
Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)
I-1	1	0
I-2	1	0
I-3	1	0
I-4	1	0
I-5	1	0
I-6	1	0
I-7	1	0
I-8	1	0
I-9	1	0
I-10	1	0
<b>Promedio</b>	1	0

Tabla 6-20: Alabeo diseño I fase III

c) Diseño "J"

DISEÑO "J"		
Espécimen	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)
J-1	1	0
J-2	1	0
J-3	1	0
J-4	1	0
J-5	1	0
J-6	1	0
J-7	1	0
J-8	1	0
J-9	1	0
J-10	1	0
<b>Promedio</b>	1	0

Tabla 6-21: Alabeo diseño J fase III

En las tablas 6.19, 6.20 y 6.21 se detalla que para los tres diseños se obtuvo una distorsión convexa en la superficie, con el valor de 1 mm, este resultado se repite en los tres diseños debido a que su fabricación fue con un mismo molde mecanizado.



Figura 6-4: Alabeo con convexidad del espécimen

6.3.3 Variación Dimensional

a) Diseño “G”

Especimen	LONGITUD (mm)					ANCHO (mm)					ALTURA (mm)					
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho	
G-1	251.10	251.20	251.70	251.50	251.38	126.30	126.20	126.10	126.30	126.23	68.80	68.00	69.90	66.90	68.40	
G-2	251.90	251.10	251.70	251.40	251.53	126.90	126.80	126.50	126.90	126.78	69.20	68.50	68.55	68.60	68.71	
G-3	251.30	251.90	251.70	251.70	251.65	126.10	126.60	126.40	126.20	126.33	69.00	68.90	67.30	67.40	68.15	
G-4	251.60	251.50	251.30	251.40	251.45	126.50	126.10	126.80	126.80	126.55	69.60	69.60	68.50	70.00	69.43	
G-5	251.40	251.60	251.10	251.80	251.48	126.90	126.30	126.40	126.40	126.50	68.80	67.80	68.90	69.00	68.63	
G-6	251.20	251.60	251.70	251.20	251.43	126.30	126.80	126.30	126.60	126.50	70.10	69.50	69.90	70.40	69.98	
G-7	251.50	251.40	251.30	251.20	251.35	126.10	126.80	126.10	126.70	126.43	70.10	69.00	69.00	68.90	69.25	
G-8	251.30	251.40	251.30	251.10	251.28	126.20	126.10	126.80	126.30	126.35	69.80	67.40	69.15	69.50	68.96	
G-9	251.90	251.70	251.10	251.50	251.55	126.90	126.70	126.60	126.80	126.75	68.60	68.10	67.20	69.50	68.35	
G-10	251.90	251.90	251.60	251.10	251.63	126.20	126.10	126.70	126.50	126.38	67.50	70.00	68.20	68.60	68.58	
				<b>L</b>	250.00					<b>A</b>	125.00				<b>H</b>	70.00
				<b>σ</b>	0.12					<b>σ</b>	0.18				<b>σ</b>	0.56
				<b>Lp</b>	251.47					<b>Ap</b>	126.48				<b>Hp</b>	68.84
				<b>%</b>	0.59					<b>%</b>	1.18				<b>%</b>	-1.65

Tabla 6-22: Variación dimensional diseño G fase III

b) Diseño "I"

Especimen	LONGITUD (mm)					ANCHO (mm)					ALTURA (mm)					
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho	
I-1	251.80	251.20	251.90	251.10	251.50	126.10	126.20	126.50	126.20	126.25	70.60	70.35	71.80	70.90	70.91	
I-2	251.60	251.20	251.20	251.20	251.30	126.30	126.20	126.20	126.50	126.30	70.60	70.00	69.00	70.50	70.03	
I-3	251.70	251.70	251.50	251.40	251.58	126.70	126.20	126.10	126.40	126.35	73.00	73.80	73.55	73.60	73.49	
I-4	251.50	251.90	251.40	251.10	251.48	126.30	126.20	126.30	126.20	126.25	69.70	70.90	71.40	70.00	70.50	
I-5	251.20	251.70	251.10	251.10	251.28	126.80	126.20	126.70	126.40	126.53	71.10	68.90	68.90	70.60	69.88	
I-6	251.80	251.80	251.40	251.80	251.70	126.40	126.90	126.50	126.10	126.48	70.80	71.35	71.50	71.60	71.31	
I-7	251.50	251.10	251.70	251.90	251.55	126.80	126.50	126.80	126.50	126.65	70.70	70.00	69.40	71.50	70.40	
I-8	251.20	251.30	251.40	251.80	251.43	126.80	126.70	126.60	126.80	126.73	70.25	70.60	69.75	69.40	70.00	
I-9	251.80	251.60	251.80	251.50	251.68	126.50	126.50	126.10	126.10	126.30	70.20	72.10	70.60	69.75	70.66	
I-10	251.90	251.90	251.70	251.20	251.68	126.40	126.60	126.80	126.30	126.53	70.75	71.25	70.00	70.60	70.65	
				<b>L</b>	250.00					<b>A</b>	125.00				<b>H</b>	70.00
				<b>σ</b>	0.15					<b>σ</b>	0.17				<b>σ</b>	1.05
				<b>Lp</b>	251.52					<b>Ap</b>	126.44				<b>Hp</b>	70.78
				<b>%</b>	0.60					<b>%</b>	1.13				<b>%</b>	1.11

Tabla 6-23: Variación dimensional diseño I fase III

c) Diseño “J”

Especimen	LONGITUD (mm)					ANCHO (mm)					ALTURA (mm)					
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho	
J-1	251.40	251.80	251.70	251.30	251.55	126.20	126.20	126.70	126.60	126.43	73.40	72.40	72.90	71.60	72.58	
J-2	251.50	251.30	251.60	251.30	251.43	126.20	126.30	126.80	126.30	126.40	68.50	69.00	69.00	67.90	68.60	
J-3	251.70	251.70	251.70	251.40	251.63	126.30	126.80	126.60	126.10	126.45	69.10	70.20	69.20	69.10	69.40	
J-4	251.90	251.60	251.40	251.90	251.70	126.40	126.50	126.40	126.50	126.45	68.80	66.60	70.00	66.40	67.95	
J-5	251.20	251.40	251.70	251.80	251.53	126.60	126.90	126.70	126.30	126.63	67.00	66.90	67.00	67.40	67.08	
J-6	251.30	251.40	251.90	251.30	251.48	126.40	126.60	126.50	126.60	126.53	69.40	68.70	69.50	69.10	69.18	
J-7	251.10	251.30	251.80	251.30	251.38	126.10	126.70	126.10	126.10	126.25	68.40	69.00	68.30	70.80	69.13	
J-8	251.80	251.40	251.40	251.10	251.43	126.50	126.90	126.60	126.20	126.55	69.40	69.20	69.00	69.60	69.30	
J-9	251.70	251.10	251.90	251.10	251.45	126.40	126.50	126.70	126.20	126.45	71.50	73.00	72.20	73.00	72.43	
J-10	251.80	251.70	251.50	251.30	251.58	126.90	126.10	126.30	126.90	126.55	71.40	70.20	71.00	70.00	70.65	
				<b>L</b>	250.00					<b>A</b>	125.00				<b>H</b>	70.00
				<b>σ</b>	0.10					<b>σ</b>	0.10				<b>σ</b>	1.78
				<b>Lp</b>	251.51					<b>Ap</b>	126.47				<b>Hp</b>	69.63
				<b>%</b>	0.60					<b>%</b>	1.17				<b>%</b>	-0.53

Tabla 6-24: Variación dimensional diseño J fase III

H (mm)	Variación	(mm)	(%)
70	Exceso	5	6.67
	Defecto	2	2.94

A (mm)	Variación	(mm)	(%)
125	Exceso	5	3.85
	Defecto	2	1.63

L (mm)	Variación	(mm)	(%)
250	Exceso	5	1.96
	Defecto	2	0.81

En las tablas 6.22, 6.23 y 6.24 se muestran los resultados promedios, para las medidas; altura, ancho y largo para cada diseño.

- *Para el diseño "G":* Altura dentro del orden de 1.65% de variación por defecto, ancho 1.18% variación por exceso y largo 0.59% variación por exceso.
- *Para el diseño "I":* Altura dentro del orden de 1.11% de variación por exceso, ancho 1.13% variación por exceso y largo 0.60% variación por exceso.
- *Para el diseño "J":* Altura dentro del orden de 0.53% de variación por defecto, ancho 1.17% variación por exceso y largo 0.60% variación por exceso.

Los parámetros de comparación se presentan en las mismas tablas, los cuales se tomaron de referencia de la norma española UNE 41410. Los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con los límites establecidos.



Figura 6-5: Toma de medidas con vernier

### 6.3.4 Resistencia a la Compresión para Unidades

a) Diseño “G

PROBETA	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm <sup>3</sup> )	V. Huecos (cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
G1	0	9	12.64	25.14	6.99	2221.08	494.93	1726.14	247.03	9540	38.62	33.78
G2	0	9	12.66	25.13	7.19	2285.37	507.32	1778.05	247.42	7160	28.94	
G3-7d	7	9	12.67	25.16	7.04	2244.32	498.36	1745.96	247.92	16150	65.14	66.35
G4-7d	7	9	12.63	25.13	7.00	2220.37	495.40	1724.97	246.60	16660	67.56	
G5-7d	7	30	12.64	25.15	6.96	2211.32	493.06	1718.26	246.97	21260	86.08	84.40
G6-7d	7	30	12.66	25.13	7.01	2228.83	496.02	1732.81	247.37	20460	82.71	
G7- 14d	14	16	12.65	25.14	6.98	2220.80	494.62	1726.18	247.22	13470	54.49	54.85
G8- 14d	14	16	12.63	25.16	6.89	2189.44	488.85	1700.59	246.82	13630	55.22	
G9- 14d	14	30	12.68	25.13	7.03	2238.64	497.43	1741.21	247.77	16860	68.05	68.40
G10- 14d	14	30	12.65	25.13	6.93	2203.66	491.35	1712.32	247.09	16990	68.76	
G11 -28d	28	30	12.66	25.17	6.97	2220.48	494.00	1726.49	247.61	12470	50.36	50.46
G12 -28d	28	30	12.63	25.14	6.88	2182.29	487.92	1694.37	246.45	12460	50.56	

Tabla 6-25: Resistencia a la compresión de unidades del diseño G

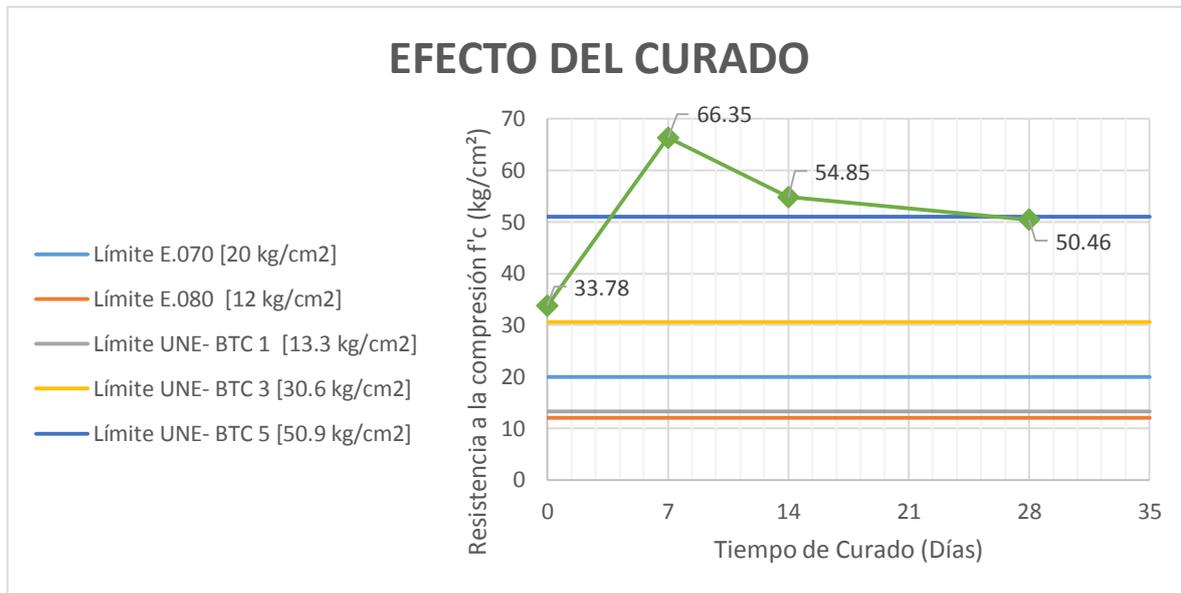


Gráfico 6-10: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño G

En la tabla 6.25 se muestran las resistencias obtenidas en cada ladrillo en función del tiempo de curado.

En la gráfica 6.10 se revela la variación de la resistencia a la compresión, con respecto al tiempo de curado. Se observa claramente que el tiempo idóneo para curar los ladrillos es de siete días, además podemos observar los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080, así como la clasificación que corresponde según la norma española UNE 41410.

Para cero días de curado, se obtiene la menor resistencia, aun cumpliendo los límites y encontrándose como un BTC 3.

Para siete y catorce días, la resistencia alcanza valores máximos, y se clasifica como un BTC 5.

Finalmente para veinte y ocho días de curado, la resistencia se encuentra en el límite para ser considerado como un BTC 5.

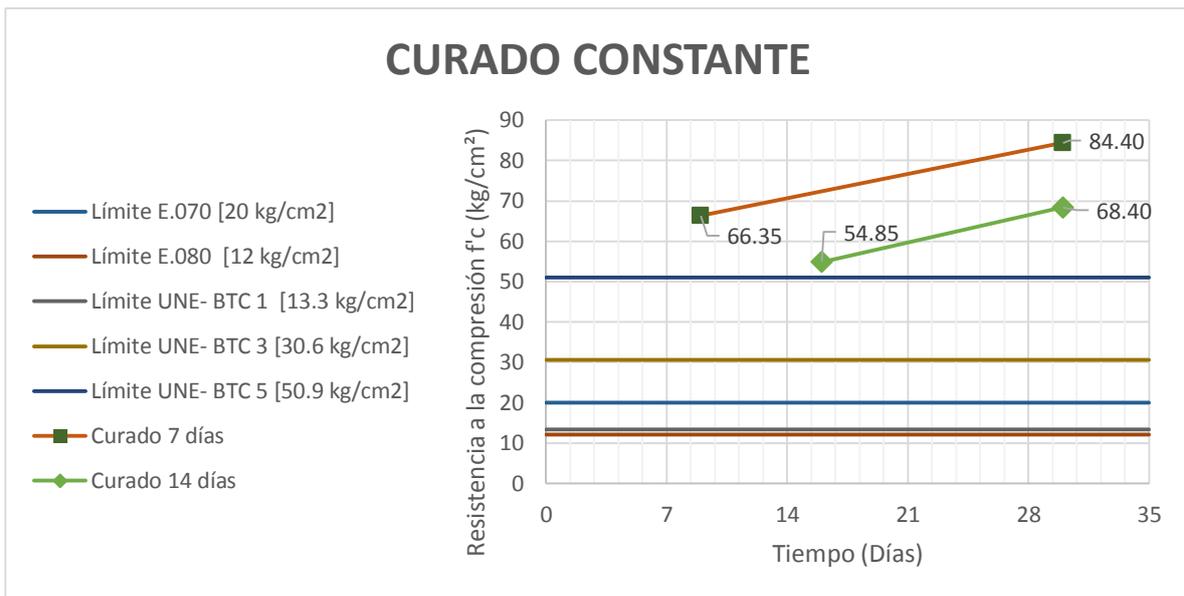


Gráfico 6-11: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño G.

En la gráfica 6.11 se detalla la variación de la resistencia a la compresión, con respecto a la edad del espécimen. Se observa que tanto para 7 y 14 días de curado, la resistencia aumenta al llegar a los 28 días.

Cuando el curado es de siete días la resistencia aumenta un 25% al llegar a los 28 días, mientras que para catorce días de curado la resistencia incremento 19.8%

Los valores cumplen satisfactoriamente los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080, la clasificación que corresponde según la norma española UNE 41410 es de un BTC 5.



Figura 6-6:  
Espécimen sometido  
al ensayo de  
compresión axial

b) Diseño “I”

PROBETA	Curado	Edad	Ancho	Largo	Altura	V. Bruto	V. Huecos	(cm3)	Área	Fuerza	f'c	f'c
COD.	(días)	(días)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	(cm3)	(cm3)		(cm2)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
I1 -7d	7	9	12.64	25.15	7.06	2243.81	499.61	1744.20	246.97	8730	35.35	34.14
I2 -7d	7	9	12.67	25.16	6.94	2211.66	491.97	1719.69	247.79	8160	32.93	
I3 -7d	7	30	12.66	25.14	7.20	2290.43	508.18	1782.25	247.53	10340	41.77	41.41
I4 -7d	7	30	12.66	25.16	6.94	2210.09	492.05	1718.04	247.51	10160	41.05	
I5 -14d	14	16	12.66	25.14	7.19	2287.81	507.40	1780.41	247.71	7470	30.16	31.02
I6 -14d	14	16	12.63	25.15	7.24	2299.97	510.67	1789.30	247.14	7880	31.88	
I7 -14d	14	30	12.65	25.16	7.04	2239.98	498.21	1741.78	247.41	9800	39.61	37.81
I8 -14d	14	30	12.65	25.13	7.10	2257.18	502.10	1755.08	247.11	8900	36.02	
I9 -28d	28	30	12.65	25.13	7.07	2247.96	500.08	1747.88	247.23	7160	28.96	26.96
I10 -28d	28	30	12.66	25.14	7.24	2303.61	510.67	1792.93	247.64	6180	24.96	

Tabla 6-26: Resistencia a la compresión de unidades del diseño I

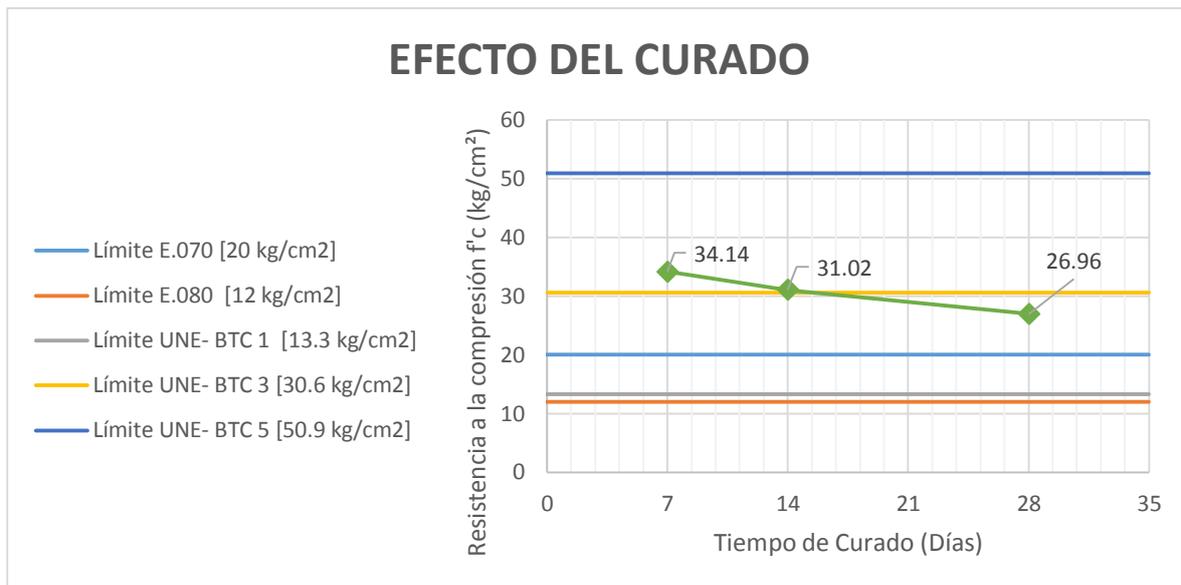


Gráfico 6-12: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño I

En la tabla 6.26 se muestran las resistencias obtenidas en cada ladrillo en función del tiempo de curado.

De la misma forma se observa que la resistencia decrece a medida que aumenta el tiempo de curado. Esto se expone en la gráfica 6.12.

Para siete días, la resistencia alcanza valores máximos, y se clasifica como un BTC 3. A los catorce días la resistencia se encuentra en el límite para ser considerado como un BTC 3 y en cuanto a los veintiocho días de curado, se considera como un BTC 3.

En todos los casos se cumplen los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080.



Figura 6-7: Ladrillo suelo-cemento luego de fallar a compresión simple

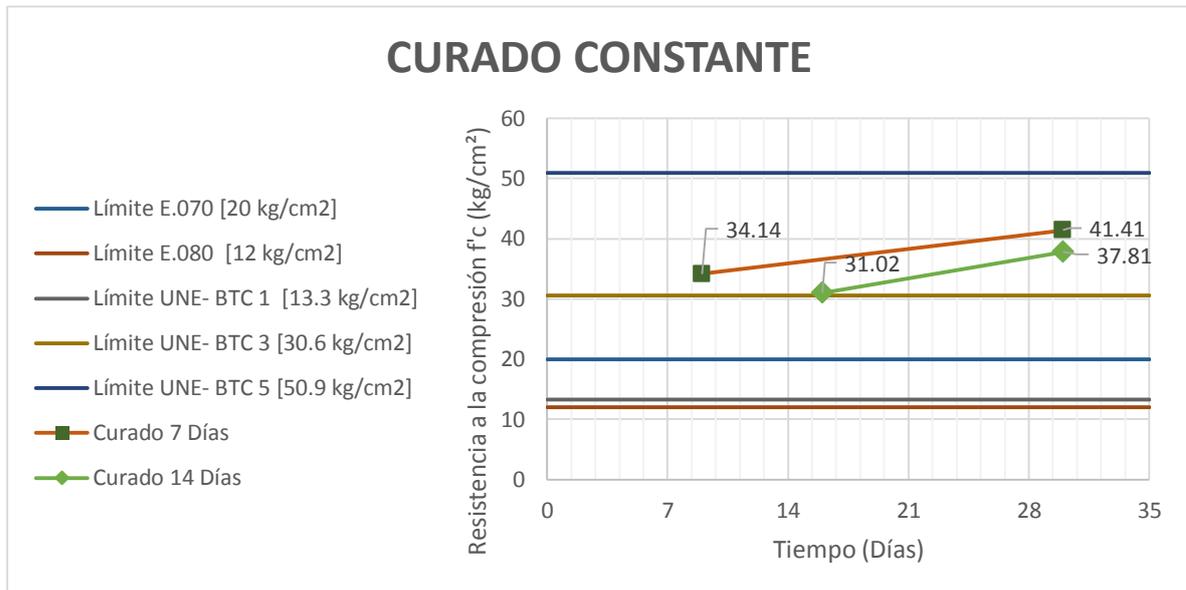


Gráfico 6-13: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño I.

En la gráfica 6.13 se muestra la variación de la resistencia a la compresión, con respecto a la edad de los ladrillos. Se observa que tanto para siete y catorce días de curado, la resistencia aumenta al llegar a los 28 días.

Cuando el curado es de siete días la resistencia aumente un 17.6% al llegar a los veintiocho días, mientras que para catorce días de curado la resistencia incremento 18%

Los valores cumplen satisfactoriamente los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080, la clasificación que corresponde según la norma española UNE 41410 es de un BTC 3.

c) Diseño “J”

PROBETA	Curado	Edad	Ancho	Largo	Altura	V. Bruto	V. Huecos	(cm3)	Área	Fuerza	f'c	f'c
COD.	(días)	(días)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	(cm3)	(cm3)		(cm2)	(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
J1-7d	7	9	12.66	25.16	7.07	2250.60	499.76	1750.84	247.82	10150	40.96	41.55
J2-7d	7	9	12.67	25.16	7.05	2245.34	498.52	1746.82	247.95	10450	42.15	
J3-7d	7	30	12.66	25.15	7.21	2295.09	508.65	1786.44	247.86	12400	50.03	51.70
J4-7d	7	30	12.64	25.16	7.13	2266.65	503.74	1762.91	247.30	13200	53.38	
J5-14d	14	16	12.65	25.14	7.04	2237.19	498.05	1739.14	247.12	8010	32.41	34.18
J6-14d	14	16	12.66	25.16	6.98	2220.84	494.15	1726.68	247.55	8900	35.95	
J7-14d	14	30	12.66	25.14	6.88	2189.57	488.07	1701.49	247.40	11400	46.08	47.46
J8-14d	14	30	12.64	25.16	6.83	2170.29	484.80	1685.49	246.96	12060	48.83	
J9-28d	28	30	12.65	25.16	7.19	2287.37	507.40	1779.97	247.65	6180	24.95	26.04
J10-28d	28	30	12.65	25.13	7.07	2247.42	500.23	1747.19	247.04	6700	27.12	

Tabla 6-27: Resistencia a la compresión de unidades del diseño J

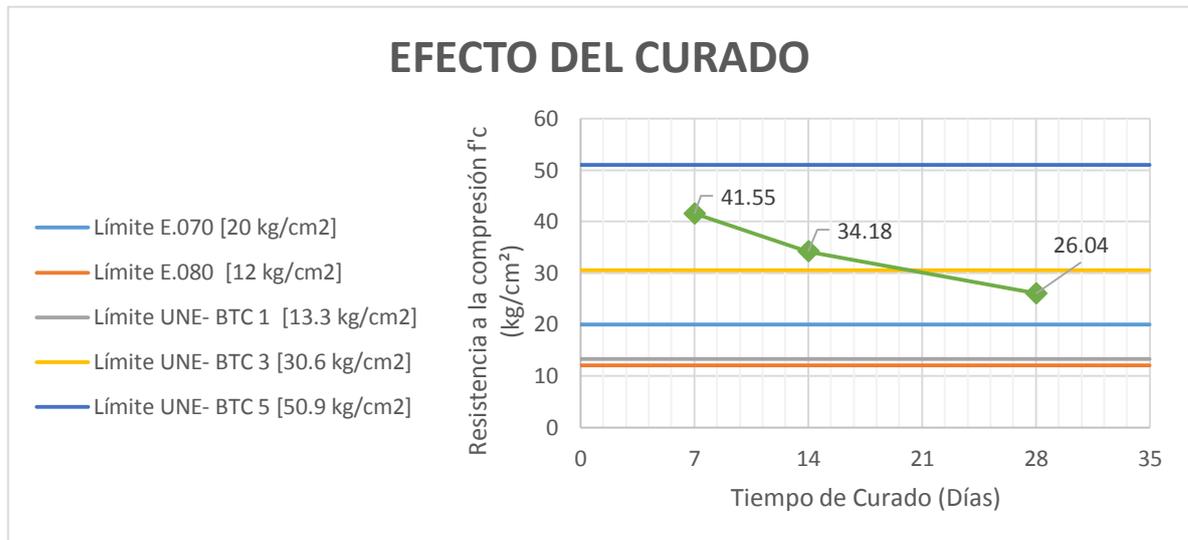


Gráfico 6-14: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño J

En la tabla 6.27 se muestran las resistencias obtenidas en cada ladrillo en función del tiempo de curado.

En la gráfica 6.14 se observa la variación de la resistencia a la compresión, con respecto al tiempo de curado. Se demuestra que la resistencia decrece a medida que aumenta el tiempo de curado.

Para siete días, la resistencia alcanza valores máximos, y se clasifica como un BTC 3. De igual forma los catorce días se considerada como un BTC 3 y en cuanto a los veinte y ocho días de curado, se considera como un BTC 1.

En todos los casos se cumplen los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080.

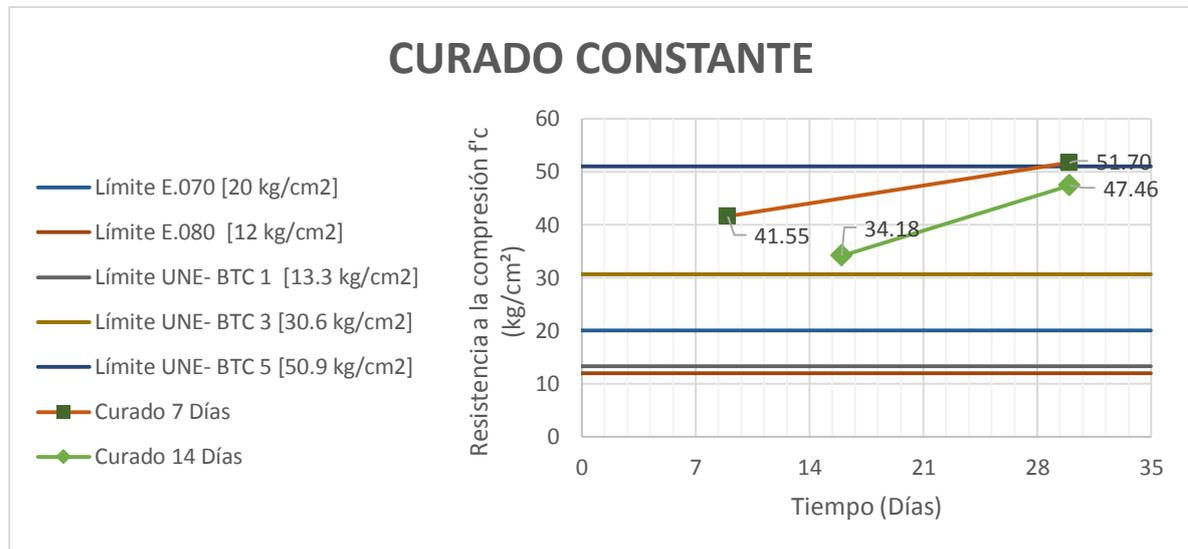


Gráfico 6-15: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño J.

En la gráfica 6.15 muestra la variación de la resistencia a la compresión, con respecto a la edad del ladrillo. Se observa que tanto para siete y catorce días de curado, la resistencia aumenta al llegar a los 28 días.

Cuando el curado es de siete días la resistencia aumente un 19.6% al llegar a los veinte y ocho días, mientras que para catorce días de curado la resistencia incremento 28%

Los valores cumplen satisfactoriamente los límites de resistencia que se exigen en las normas peruanas E.070 y E.080, la clasificación que corresponde según la norma española UNE 41410 es de un BTC 3.

### 6.3.5 Densidad

#### a) Diseño "G"

Espécimen	Peso Inicial Wi (g)	Peso Seco Wd (g)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	(cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Inicial (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Seca (g/cm <sup>3</sup> )
G-1	3393	2966	12.623	25.138	6.840	1743.880	1.946	1.701
G-2	3384	2943	12.678	25.153	6.871	1762.654	1.920	1.670
G-3	3441	2949	12.633	25.165	6.815	1741.587	1.976	1.693
G-4	3440	2948	12.655	25.145	6.943	1776.343	1.937	1.660
G-5	3437	2938	12.650	25.148	6.863	1755.228	1.958	1.674
G-6	3430	2897	12.650	25.143	6.998	1789.315	1.917	1.619
G-7	3431	2891	12.643	25.135	6.925	1768.813	1.940	1.634
G-8	3429	2874	12.635	25.128	6.896	1759.517	1.949	1.633
G-9	3443	2973	12.675	25.155	6.835	1753.141	1.964	1.696
G-10	3420	2956	12.638	25.163	6.858	1753.094	1.951	1.686

Tabla 6-28: Densidad volumétrica de unidades del diseño G

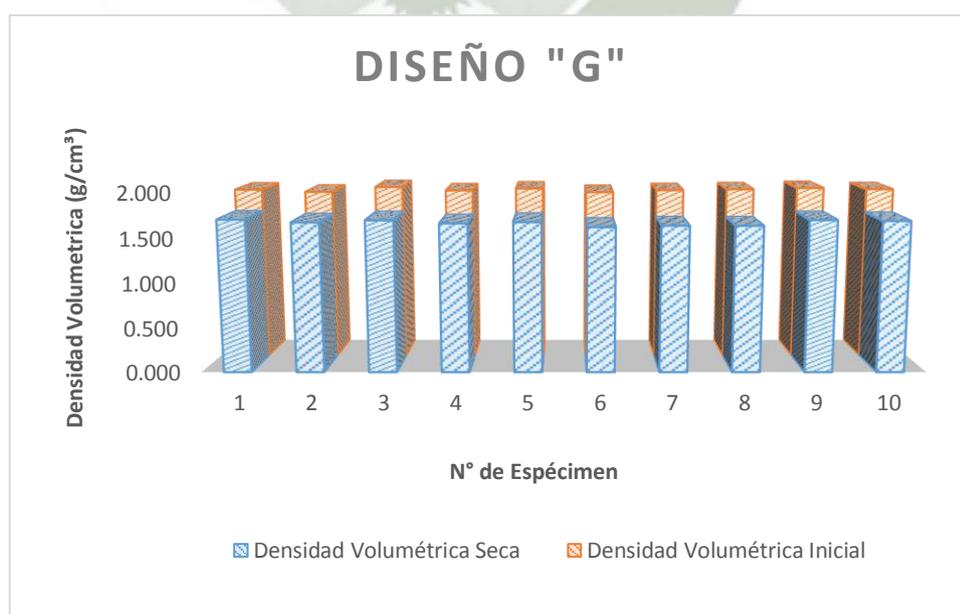


Gráfico 6-16: Densidad volumétrica de unidades del diseño G

b) Diseño "I"

Espécimen	Peso Inicial Wi (g)	Peso Seco Wd (g)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	(cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Inicial (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Seca (g/cm <sup>3</sup> )
I-1	3450	3030	12.625	25.150	7.091	1809.502	1.907	1.674
I-2	3455	3043	12.630	25.130	7.003	1785.967	1.935	1.704
I-3	3430	3145	12.635	25.158	7.349	1877.753	1.827	1.675
I-4	3453	3059	12.625	25.148	7.050	1798.753	1.920	1.701
I-5	3420	2896	12.653	25.128	6.988	1785.871	1.915	1.622
I-6	3465	3070	12.648	25.170	7.131	1825.548	1.898	1.682
I-7	3460	3063	12.665	25.155	7.040	1803.952	1.918	1.698
I-8	3420	2924	12.673	25.143	7.000	1793.914	1.906	1.630
I-9	3415	2851	12.630	25.168	7.066	1805.573	1.891	1.579
I-10	3423	2901	12.653	25.168	7.065	1809.254	1.892	1.603

Tabla 6-29: Densidad volumétrica de unidades del diseño I



Gráfico 6-17: Densidad volumétrica de unidades del diseño I

c) Diseño "J"

Espécimen	Peso Inicial Wi (g)	Peso Seco Wd (g)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	(cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Inicial (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Seca (g/cm <sup>3</sup> )
J-1	3421	2846	12.643	25.155	7.258	1855.577	1.844	1.534
J-2	3425	2857	12.640	25.143	6.860	1752.430	1.954	1.630
J-3	3422	2847	12.645	25.163	6.940	1775.494	1.927	1.603
J-4	3430	2969	12.645	25.170	6.795	1739.043	1.972	1.707
J-5	3420	2854	12.663	25.153	6.708	1718.117	1.991	1.661
J-6	3430	2969	12.653	25.148	6.918	1769.731	1.938	1.678
J-7	3423	2863	12.625	25.138	6.913	1762.798	1.942	1.624
J-8	3440	3039	12.655	25.143	6.930	1772.926	1.940	1.714
J-9	3545	3110	12.645	25.145	7.243	1851.282	1.915	1.680
J-10	3430	2907	12.655	25.158	7.065	1808.804	1.896	1.607

Tabla 6-30: Densidad volumétrica de unidades del diseño J

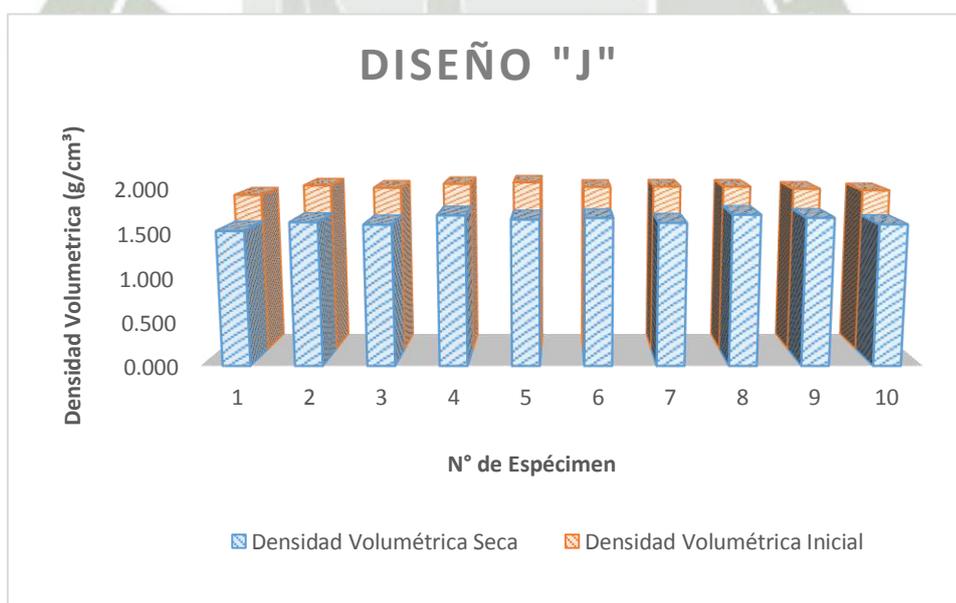


Gráfico 6-18: Densidad volumétrica de unidades del diseño J

d) Comparación entre Diseños

Diseño	PROMEDIOS	
	Densidad Volumétrica Inicial (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Volumétrica Seca (g/cm <sup>3</sup> )
G	1.946	1.667
I	1.901	1.657
J	1.932	1.644



Figura 6-8: Pesado de los ladrillos

Tabla 6-31: Densidad volumétrica de unidades promedio de los 3 diseños

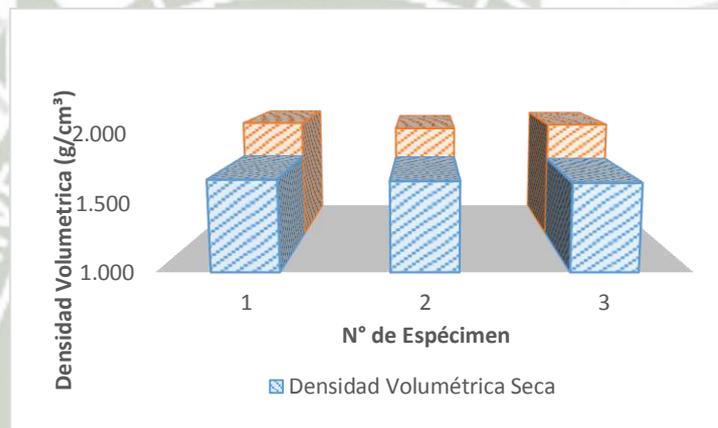


Gráfico 6-19: Densidad volumétrica de unidades promedio de los 3 diseños

En las tablas 6.28, 6.29 y 6.30 se detallan los resultados para cada ladrillo en sus respectivos diseños. Al igual en las gráficas 6.16, 6.17 y 6.18 se muestran la variación entre densidades volumétricas. En la gráfica 6.19 se puede observar los valores promedio para cada diseño, siendo el resultado similar para estos tres, la densidad volumétrica inicial es mayor que la densidad volumétrica seca, esto se atribuye al pasar del tiempo la humedad de la unidad se pierde.

### 6.3.6 Absorción

#### a) Diseño "G"

Porcentaje de Absorción DISEÑO "G"			
Tiempo (min)	Peso Saturado Ws (g)	Absorción (g)	Observación
0	1514.00		Peso Inicial
1	1653.00	139	
2	1683.00	30	
3	1703.00	20	
4	1717.00	14	
5	1727.00	10	
6	1735.00	8	
7	1742.00	7	
8	1748.00	6	
9	1753.00	5	
10	1756.00	3	
Porcentaje de Absorción			16.0%

ABSORCIÓN				
Espécimen	Peso Seco Wd (g)	Peso Saturado 24hr Ws (g)	Absorción 5hr (%)	Promedio (%)
G-1	1514	1780	17.3	18.1%
G-2	1470	1722	16.9	
G-3	1396	1636	16.8	
G-4	1489	1760	18.0	
G-5	1464	1766	20.2	

Tabla 6-32: Porcentaje de absorción promedio diseño G a los 10 minutos y a las 24 horas

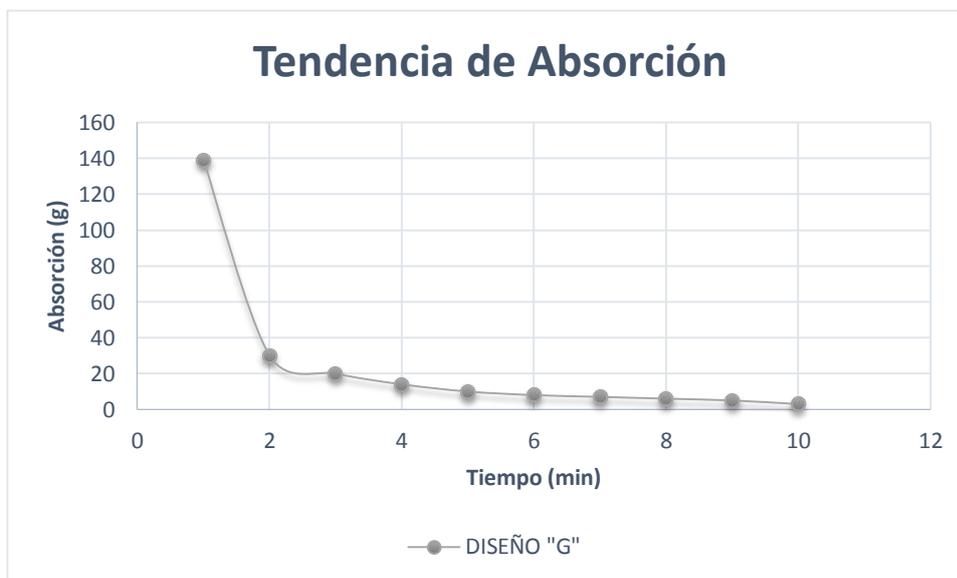


Gráfico 6-20: Porcentaje de absorción promedio diseño G durante los 10 primeros minutos



Figura 6-9: Medios ladrillos ensayados para ver su absorción

b) Diseño "I"

Porcentaje de Absorción DISEÑO "I"			
Tiempo (min)	Peso Saturado Ws (g)	Absorción (g)	Observación
0	2172.00		Peso Inicial
1	2304.00	132	
2	2359.50	56	
3	2389.50	30	
4	2410.50	21	
5	2426.25	16	
6	2435.25	9	
7	2442.75	8	
8	2448.00	5	
9	2451.00	3	
10	2452.50	2	
<b>Porcentaje de Absorción</b>			<b>12.9%</b>

ABSORCIÓN				
Espécimen	Peso Seco Wd (g)	Peso Saturado 24hr Ws (g)	Absorción 24hr (%)	Promedio (%)
I-1	1423	1667	17.1	<b>16.5%</b>
I-2	1456	1683	15.6	
I-3	1482	1714	15.7	
I-4	1430	1680	17.5	
I-5	1475	1721	16.7	

Tabla 6-33: Porcentaje de absorción promedio diseño I a los 10 minutos y a las 24 horas



Gráfico 6-21: Porcentaje de absorción promedio diseño I durante los 10 primeros minutos



Figura 6-10: Medios ladrillos antes y durante el ensayo de absorción

c) Diseño "J"

Porcentaje de Absorción DISEÑO "J"			
Tiempo (min)	Peso Saturado Ws (g)	Absorción (g)	Observación
0	1512.00		Peso Inicial
1	1647.00	135	
2	1685.00	38	
3	1707.00	22	
4	1723.00	16	
5	1735.00	12	
6	1740.00	5	
7	1745.00	5	
8	1749.00	4	
9	1752.00	3	
10	1754.00	2	
Porcentaje de Absorción			16.0%

ABSORCIÓN				
Espécimen	Peso Seco Wd (g)	Peso Saturado 24hr Ws (g)	Absorción 24hr (%)	Promedio (%)
J-1	1493	1741	16.6	18.6%
J-2	1410	1681	19.2	
J-3	1404	1678	19.5	
J-4	1403	1697	21.0	
J-5	1412	1647	16.6	

Tabla 6-34: Porcentaje de absorción promedio diseño J a los 10 minutos y a las 24 horas



Gráfico 6-23: Porcentaje de absorción promedio diseño J durante los 10 primeros minutos



Figura 6-11: Medios ladrillos durante y después del ensayo de absorción

d) Comparación entre Diseños



Gráfico 6-24: Comparativo del porcentaje de absorción promedio de los 3 diseños durante los 10 primeros minutos

De la gráfica 6.24 se puede observar que para los tres diseños la gran parte de la absorción se da dentro de los primeros 2 minutos, en este tiempo el ladrillo absorbe cerca de 175 g de agua, luego el porcentaje de absorción disminuye drásticamente.

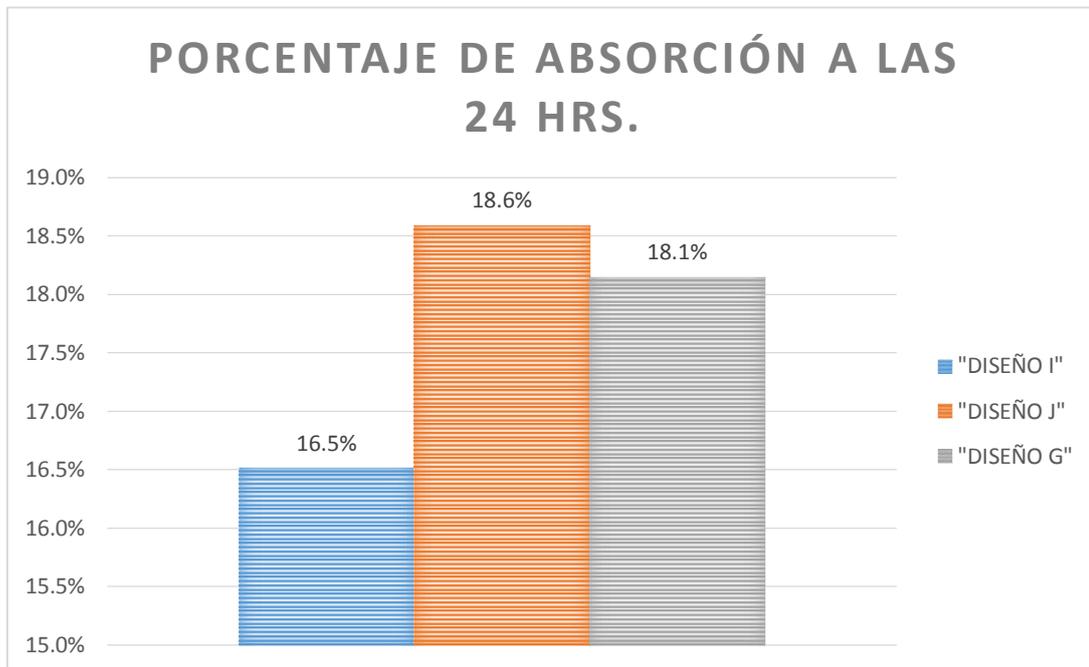


Gráfico 6-25: Comparativo del porcentaje de absorción promedio de los 3 diseños a las 24 horas

Además en la gráfica 6.25 se puede notar que la absorción a las 24hrs para el diseño "I" es de 16.1%, para el diseño "J" es de 18.6% y para "G" es de 18.1%. Como puede verse el 100% de las muestras clasifican como TIPO IV, ya que se encuentran por debajo de 22% que especifica la norma de acuerdo a la Tabla 2 de la norma INTINTEC 331.017.

Así mismo, según el RNE el valor máximo permisible de absorción es de 22%, por lo que los resultados cumplen satisfactoriamente con esta premisa.

Es importante recalcar, que a pesar de ser ladrillos compuestos principalmente por un material hidrófugo como es la tierra, tras las 24hrs de absorción los especímenes, se mantienen enteros sin mayores desperfectos.

6.3.7 Succión

a) Diseño “G”

Tasa Inicial de Absorción de Agua por Capilaridad ( C )								
Espécimen	Área de contacto (mm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Peso Inicial Wi (g)	Peso Final Wf (g)	Succión (g/min)	Succión Promedio (g/min)	C (kg/m <sup>2</sup> min)	C Promedio (kg/m <sup>2</sup> min)
G 1	25015.51	1	2966	3029	63	66.0	2.518	2.638
G 2	25015.51	1	2943	3018	75		2.998	
G 3	25015.51	1	2949	3009	60		2.399	
G 4	25015.51	10	2948	3134	186	165.3	0.744	0.661
G 5	25015.51	10	2938	3077	139		0.556	
G 6	25015.51	10	2891	3062	171		0.684	

Tabla 6-35: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño G.

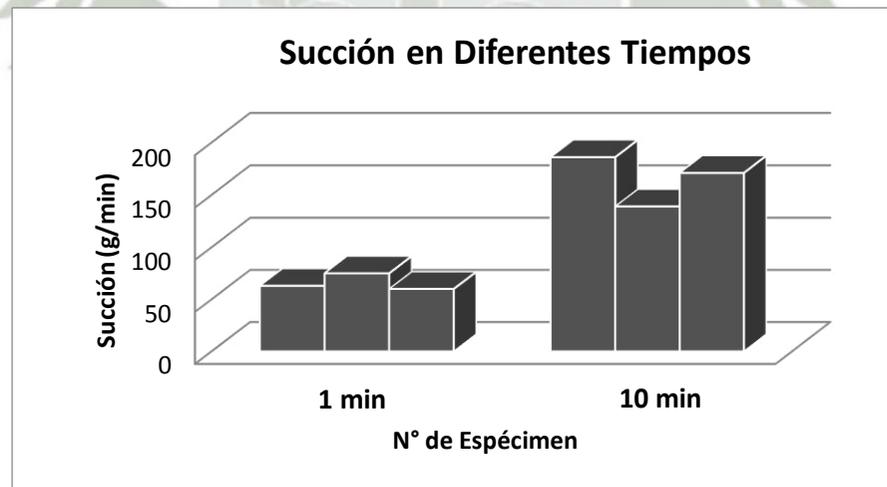


Gráfico 6-26: Succión en tiempos diferentes, diseño G.

b) Diseño "I"

Tasa Inicial de Absorción de Agua por Capilaridad ( C )								
Espécimen	Área de contacto (mm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Peso Inicial Wi (g)	Peso Final Wf (g)	Succión (g/min)	Succión Promedio (g/min)	C (kg/m <sup>2</sup> min)	C Promedio (kg/m <sup>2</sup> min)
I 1	25015.51	1	3059	3137	78	68.0	3.118	2.718
I 2	25015.51	1	3070	3136	66		2.638	
I 3	25015.51	1	3063	3123	60		2.399	
I 4	25015.51	10	3030	3220	190	191.7	0.760	0.766
I 5	25015.51	10	3043	3204	161		0.644	
I 6	25015.51	10	3145	3369	224		0.895	

Tabla 6-36: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño I.

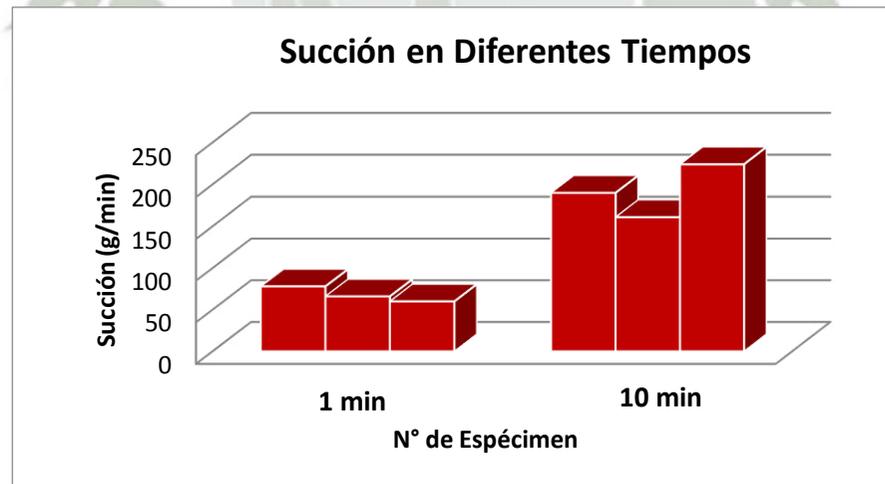


Gráfico 6-27: Succión en tiempos diferentes, diseño I.

c) Diseño “J”

Tasa Inicial de Absorción de Agua por Capilaridad ( C )								
Espécimen	Área de contacto (mm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Peso Inicial Wi (g)	Peso Final Wf (g)	Succión (g/min)	Succión Promedio (g/min)	C (kg/m <sup>2</sup> min)	C Promedio (kg/m <sup>2</sup> min)
J 1	25015.51	1	2854	2943	89	77.0	3.558	3.078
J 2	25015.51	1	2969	3043	74		2.958	
J 3	25015.51	1	2869	2937	68		2.718	
J 4	25015.51	10	3039	3164	125	175.0	0.500	0.700
J 5	25015.51	10	2907	3134	227		0.907	
J 6	25015.51	10	3130	3303	173		0.692	

Tabla 6-37: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño J.

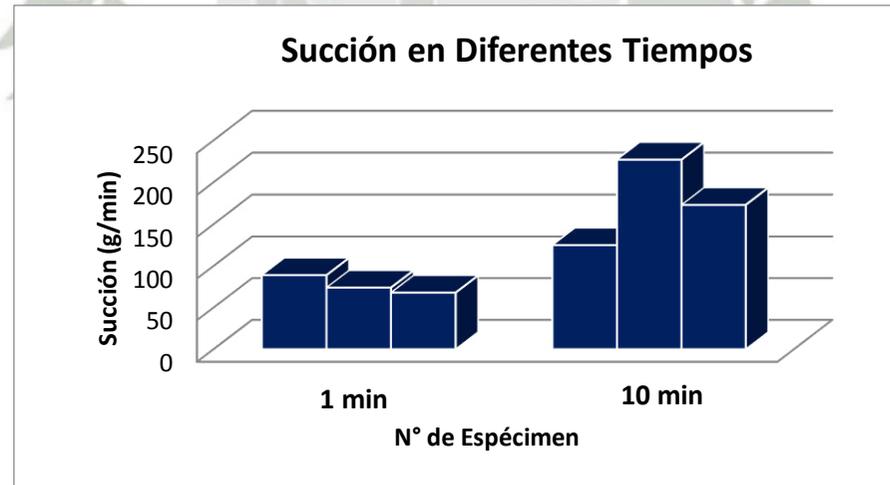


Gráfico 6-28: Succión en tiempos diferentes, diseño J.

d) Comparación entre Diseños

SUCCIÓN		
Diseño	Tiempo (min)	Succión Promedio (g/min)
G	1	66.0
I	1	68.0
J	1	77.0
G	10	165.3
I	10	191.7
J	10	175.0

Tabla 6-38: Succión promedio a los 01 y 10 minutos

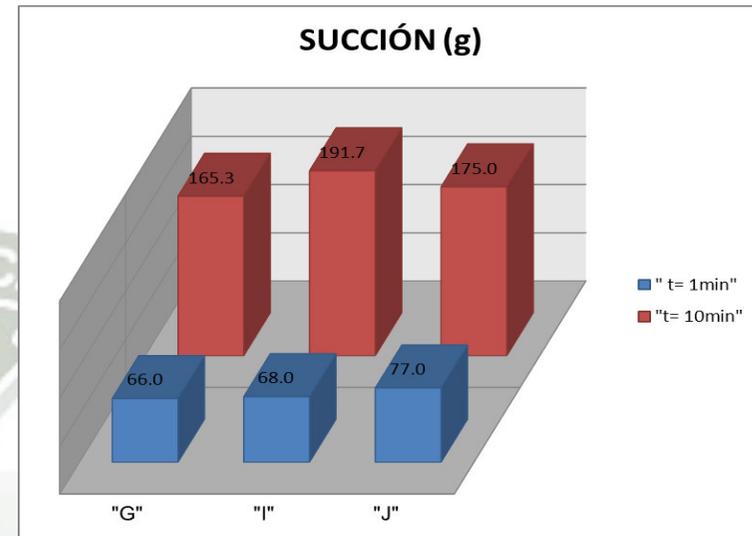


Gráfico 6-29: Succión en tiempos diferentes, promedio por diseño

Tasa Inicial de Absorción de Agua por Capilaridad ( C )			
Espécimen		Tiempo (min)	C Promedio (kg/m <sup>2</sup> min)
G	1	1	2.638
I	2	1	2.718
J	3	1	3.078
G	4	10	0.661
I	5	10	0.766
J	6	10	0.700

Tanto para succión mostrada en la gráfica 6.29 como para la tasa de absorción en la tabla 6.38, la norma peruana tiende a considerar el punto más importante al primer minuto, mientras que la normativa española realiza el ensayo para los 10 primeros minutos.

Demostrando de esta manera que para el primer minuto se obtienen resultados más críticos.

### 6.3.8 Humectación y Secado

#### a) Diseño "G"



Gráfico 6-30: Ensayo de humectación y secado del diseño G

b) Diseño "I"



Gráfico 6-31: Ensayo de humectación y secado del diseño I

c) Diseño "J"



Gráfico 6-32: Ensayo de humectación y secado del diseño J

d) Comparación entre Diseños

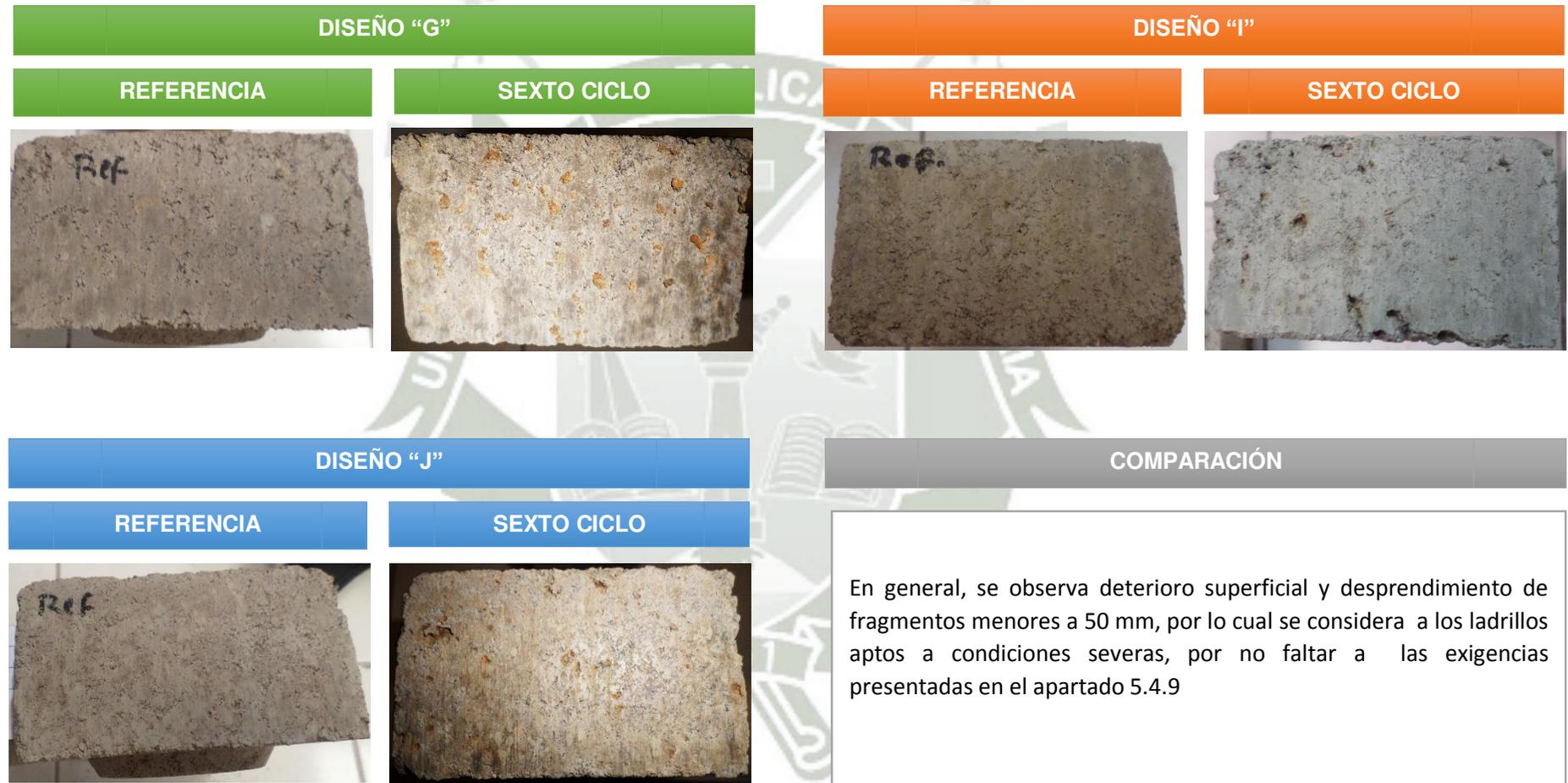


Gráfico 6-33: Comparativo del ensayo de humectación y secado de los 3 diseños finales.

### 6.3.9 Erosión Acelerada



Gráfico 6-34: Ensayo de erosión acelerado para los 3 diseños finales

Aunque en ninguno de los tres diseños se presentó oquedades con profundidades mayores a 10 mm, se puede apreciar que el mayor impacto se produjo en el ladrillo perteneciente al diseño J, en comparación al del diseño G, por lo cual se deduce que la cantidad de cemento es directamente proporcional a la resistencia al efecto de erosión principalmente causado por lluvia.

### 6.3.10 Contenido de Impurezas Orgánicas

DESCRIPCIÓN	Und.	DISEÑO		
		G	I	J
Peso del suelo seco al horno antes de la ignición + recipiente	( g )	65.20	67.80	62.30
Peso del suelo seco al horno después de la ignición + recipiente	( g )	64.70	67.10	61.80
Peso del recipiente con aproximación a 0.01 gramos.	( g )	28.20	27.80	27.30
Contenido de impurezas orgánicas	%	1.37	1.78	1.45

Tabla 6-39: Contenido de impurezas orgánicas de los 3 diseños últimos

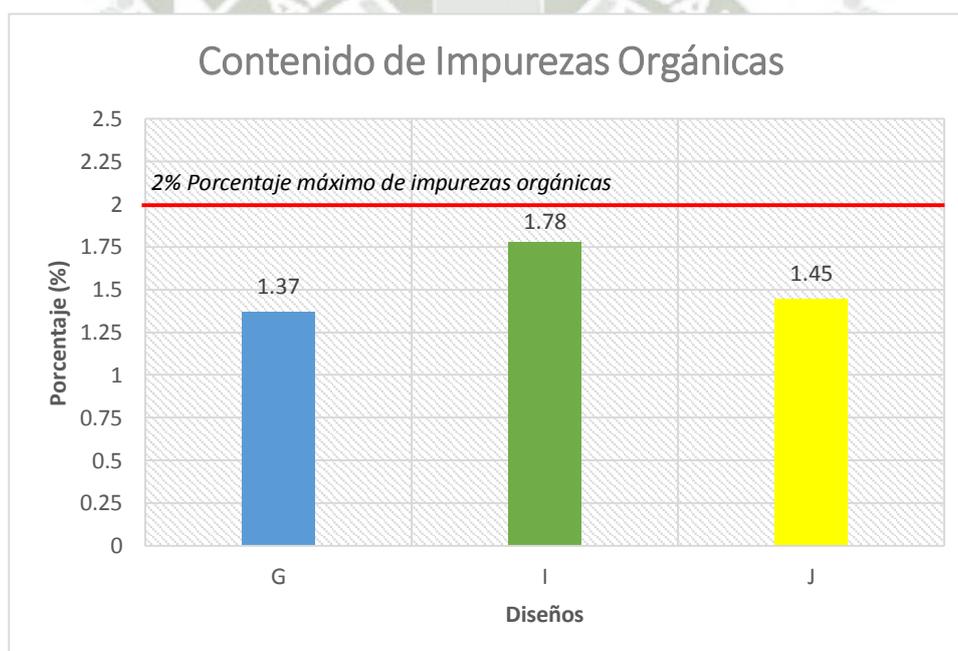


Gráfico 6-35: Porcentaje de materia orgánica contenida en cada uno de los 3 diseños últimos

En la gráfica 6.35 se muestran los resultados para los tres diseños finales, se observa claramente que todos cumplen la condición de no sobrepasar el 2% de contener impurezas orgánicas. Siendo el diseño “I” el que presenta un mayor porcentaje con 1.78%, pero aun así cumpliendo con la norma I.N.V E- 121.

## 6.4 EXTENSIÓN FASE III

### 6.4.1 Diseño de Morteros

Debido a la gran importancia que juega el rol del mortero en la resistencia tanto de pilas como muretes, se realizaron ensayos previos, con la finalidad de obtener el mortero más adecuado.

Se probaron tres tipos de mortero, morteros de arena gruesa – cemento, morteros de arena fina – cemento y morteros de suelo-cemento. Todos estos en diferentes proporciones.



Figura 6-12: Cubos de 10x10 cm para ver la resistencia a la compresión de los morteros

Esta elección fue en base a las tablas proporcionadas en el Capítulo 4, tanto para los morteros de arena – cemento como para los de suelo-cemento.

Comúnmente para el asentado de ladrillos se usa la relación 1:4 para muros portantes, cuya resistencia como material es de 130 kg/cm<sup>2</sup> este se tomó como referencia y se disminuyó la dosificación con el fin de obtener resistencias lo más próximas a la resistencia del ladrillo propuesto.

Por la propia naturaleza de los ladrillos suelo – cemento, se necesita de un mortero que permita mayor adherencia y trabajabilidad al momento del asentado,

---

*Capítulo 6. Resultados y Análisis*

---

por este motivo se optó por considerar morteros de arena gruesa – cemento y morteros de arena fina – cemento. Para evaluar los efectos de la granulometría de la arena en el mortero, tanto en estado plástico como endurecido.

También se consideraron morteros de suelo–cemento, para continuar con la línea de usar los materiales que el terreno nos provee, para economizar costos.



**Figura 6-13: Probetas recién vaciadas.**

Se presenta los resultados de esta selección previa en la tabla 6.40.



PROBETA		FECHA		Edad (días)	Ancho (cm)		Largo (cm)		Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
Descripción	Dosificación	VACIADO	ROTURA										
Mortero Suelo - Cemento	1:4	31-jul	12-ago	12	9.67	9.7	10.07	10.19	9.69	10.13	98.11	4580.00	46.68
	1:4	31-jul	12-ago	12	9.66	9.65	10	10.05	9.66	10.03	96.79	5190.00	53.62
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.77	9.78	10.02	10.04	9.78	10.03	98.04	4320.00	44.06
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.8	9.89	10.18	10.2	9.85	10.19	100.32	3850.00	38.38
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.66	9.67	10.06	10.05	9.67	10.06	97.18	2470.00	25.42
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.66	9.65	9.97	10	9.66	9.99	96.41	2870.00	29.77
Mortero Arena Gruesa - Cemento	1:4	31-jul	12-ago	12	9.66	9.67	10.06	10.08	9.67	10.07	97.33	13190.00	135.52
	1:4	31-jul	12-ago	12	9.66	9.65	10.03	10.05	9.66	10.04	96.94	14030.00	144.73
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.76	9.78	10.02	10.04	9.77	10.03	97.99	13440.00	137.15
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.81	9.88	10.2	10.19	9.85	10.20	100.37	13070.00	130.22
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.66	9.68	10.06	10.05	9.67	10.06	97.23	9180.00	94.41
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.66	9.64	10.02	10	9.65	10.01	96.60	8210.00	84.99
Mortero Arena Fina - Cemento	1:4	31-jul	12-ago	12	9.81	9.88	10.06	10.05	9.85	10.06	98.99	16040.00	162.03
	1:4	31-jul	12-ago	12	9.77	9.74	10.2	10.19	9.76	10.20	99.45	15860.00	159.47
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.87	9.86	10	10.05	9.87	10.03	98.90	12690.00	128.32
	1:5	31-jul	12-ago	12	9.9	9.89	10.07	10.06	9.90	10.07	99.59	14320.00	143.78
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.66	9.65	10.06	10.05	9.66	10.06	97.08	8310.00	85.60
	1:6	31-jul	12-ago	12	9.78	9.75	10	10	9.77	10.00	97.65	9050.00	92.68

Tabla 6-40: Resistencia a la compresión de cada uno de los morteros según dosificación

Se puede apreciar que el mortero más económico y que tiene una resistencia adecuada es la dosificación 1:6 con arena fina. No obstante en la elaboración de las primeras pilas de prueba, el mortero seleccionado no brindaba la trabajabilidad necesaria, viéndose necesaria una mayor fluidez por parte de este.

Se mejoró la dosificación del mortero, aumentando la relación agua cemento y a su vez disminuyendo la cantidad de arena, obteniendo así un mortero de alta plasticidad.

En las tablas 6.41 y 6.42 se muestran el diseño del mortero y su resistencia obtenida.

<b>MORTERO</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>ARENA</b>	<b>AGUA</b>
<b>Proporción peso</b>	1	2.0	0.8
<b>Proporción Volumen</b>	1	2.0	0.8

	<b>Volumen</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso Unitario</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Cemento</b>	1 pie <sup>3</sup>	0.0283 m <sup>3</sup>	1500 kg/m <sup>3</sup>	42.5 kg
<b>Arena</b>	1.97 pie <sup>3</sup>	0.0283 m <sup>3</sup>	1561 kg/m <sup>3</sup>	87.0 kg

	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Específico</b>	<b>Volumen</b>
<b>Cemento</b>	42.5 kg	2850 kg/m <sup>3</sup>	0.0149 m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	87.0 kg	2520 kg/m <sup>3</sup>	0.0345 m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	42.5*a/c	1000 kg/m <sup>3</sup>	0.0342 m <sup>3</sup>
		<b>SUBTOTAL</b>	0.0837 m <sup>3</sup>
		Aire (1%)	0.00084 m <sup>3</sup>
		<b>TOTAL</b>	0.0845 m <sup>3</sup>

Tabla 6-41: Diseño de mortero mejorado

PROBETA		Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
Descripción	Dosificación						
Mortero Arena Fina - Cemento	1:2	14	9.69	10.13	98.11	9450	96.32
	1:2	14	9.66	10.03	96.79	8780	90.71
	1:2	14	9.78	10.03	98.04	8850	90.27

Tabla 6-42: Resistencia a la compresión del mortero mejorado



Figura 6-14: Probetas luego de ser sometidas al ensayo de compresión simple

## 6.4.2 Fabricación y Ensayo de Pilas

### a) Procedimiento de Construcción

Se construyeron 03 pilas por cada diseño final. Las dimensiones fueron iguales para todas las pilas, y se controló la verticalidad con un nivel, el espesor de junta fue de medio centímetro.

El ensayo de compresión se realizó cuando los especímenes cumplieron los 14 días de edad.



Figura 6-15: Construcción de pilas

### b) Ensayo de Compresión Axial

Se utilizó una velocidad de carga de 90 kg/s.

La resistencia a la compresión de cada pila ( $f'_m$ ) se pudo determinar de la división de la carga a la rotura entre el área bruta de la unidad. El esfuerzo admisible a compresión de la albañilería de adobe ( $f_m$ ) en la Norma E.080:

$$f_m = 0.25 * f'_m$$

### c) Forma de Falla

Para las nueve pilas, el patrón de falla se manifiesta empezando por la aparición fisuras hacia el centro de la pila en la cara de menor dimensión. Estas grietas verticales atraviesan los ladrillos y el mortero, evidenciando una falla ideal producida por tracción debida a la expansión lateral, causada por la compresión aplicada.



Figura 6-16: Tipos de fallas de las pilas luego de ser sometidos al ensayo de compresión axial

### d) Resultados de Resistencia a la Compresión Axial

Se muestran los resultados de los ensayos para cada diseño en la Tabla 6.42. La Norma de Above E.080 propone que alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el valor de esfuerzo admisible de  $f_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ , valor que se comprueba luego del ensayo.

La resistencia admisible obtenida para el diseño "G" es de  $8.08 \text{ kg/cm}^2$ , para el diseño "I" de  $4.06 \text{ kg/cm}^2$  y para el diseño "J" de  $3.48 \text{ kg/cm}^2$ . Los tres resultados cumplen satisfactoriamente con un valor mayor al de  $f_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$

Pilas	DIMENSIONES				Área neta cm <sup>2</sup>	Fuerza (kg)	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	fm = 0.25 f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio fm (kg/cm <sup>2</sup> )
	Espesor Promedio	Largo Promedio	Alto Promedio	Esbeltez					
G-1	12.63	25.10	27.15	2.15	254.54	9170	36.025	9.01	8.08
G-2	12.63	25.10	27.30	2.16	254.54	8060	31.665	7.92	
G-3	12.63	25.10	27.20	2.15	254.54	7460	29.307	7.33	
I-1	12.69	25.10	27.55	2.17	256.17	4490	17.527	4.38	4.06
I-2	12.70	25.10	27.45	2.16	256.30	4490	17.519	4.38	
I-3	12.64	25.10	27.60	2.18	254.92	3490	13.691	3.42	
J-1	12.61	25.10	27.65	2.19	254.04	3540	13.935	3.48	3.48
J-2	12.64	25.10	27.55	2.18	254.79	3160	12.402	3.10	
J-3	12.61	25.10	27.75	2.20	254.04	3920	15.431	3.86	

Tabla 6-43: Resistencia a la compresión de pilas

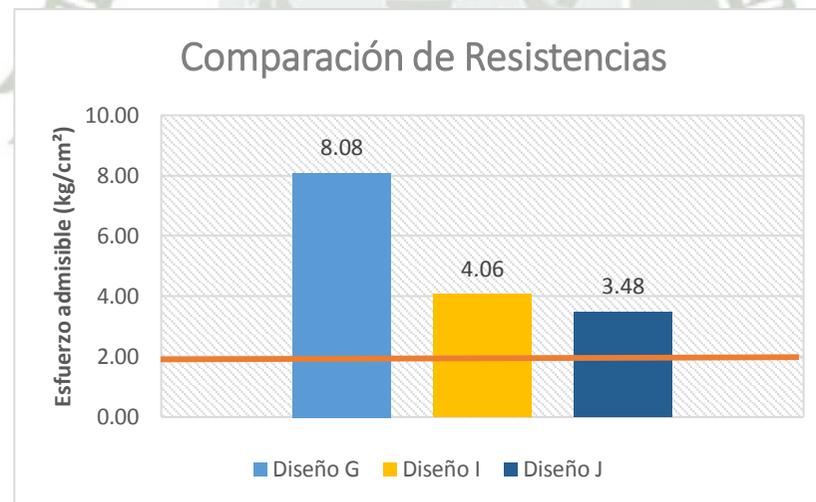


Gráfico 6-36: Resistencia a la compresión de pilas

### 6.4.3 Fabricación y Ensayo de Muretes

#### a) Procedimiento de Construcción

Se construyeron tres muretes de 0.63 m x 0.62 m de promedio, para cada diseño “G” y “J” y para el diseño “I” se fabricó cuatro muretes, 02 con refuerzo vertical de acero de  $\frac{1}{2}$ ” y 02 sin refuerzo, con juntas de 0.5 cm de espesor.

Durante la construcción de los muretes se verificó la verticalidad del mismo utilizando el mismo mortero que en la construcción de las pilas. En los extremos opuestos se colocó un refrentado de cemento y yeso para uniformizar la superficie de contacto con el dispositivo de ensayo a compresión diagonal.



Figura 6-17: Procedimiento de construcción de muretes

## b) Ensayo de Compresión Axial y Forma de Falla



G1: Falla óptima, atraviesa tanto unidad como mortero.



G2: La falla atraviesa tanto unidad como mortero, no obstante esta falla fue frágil.



G3: Falla mixta, atraviesa unidad y mortero, en la parte final se falla en la unión de mortero.



J1: Falla mixta, entre escalonada una pequeña parte y luego solo atraviesa unidad y mortero en la diagonal.



J2: La falla atraviesa tanto unidad como mortero, pero se desplazado a la diagonal.



J3: La falla atraviesa la unidad y el mortero, pero en el sector derecho no hay una buena adherencia entre mortero y ladrillo.



I1: Falla escalonada, problemas con la adherencia entre unidad y mortero.



I2: Falla mixta, en algunos tramos hubo falla de adherencia.



I1 Refuerzo: Falla óptima, atraviesa tanto unidad como mortero.



I2 Refuerzo: Falla óptima, atraviesa tanto unidad como mortero.

Figura 6-18: Tipos de falla de los muretes sometidos al ensayo de tracción diagonal.

Luego de realizar los ensayos, en la gran mayoría de los muretes se presentó una falla similar, en donde se pudo observar fallas por tracción a lo largo del espécimen y con poca tendencia a propagarse por las juntas. Esto indica que hubo una óptima adherencia entre la unidad y el mortero.

#### d) Resultados de Resistencia a la Compresión Axial

Al igual que los cálculos realizados en los ensayos de compresión en pilas, para determinar el valor de la resistencia característica al corte de la albañilería ( $v'm$ ), se utilizó el valor promedio de la fuerza aplicada entre el área diagonal comprimida.

Siguiendo lo establecido en la norma E.080, el esfuerzo admisible al corte del muro ( $V_m$ ) se obtiene con la expresión:

$$V_m = 0.4 * f' t$$

Los valores obtenidos son mayores que la alternativa cuando no se realizan ensayos de muretes, en donde se puede usar como esfuerzo admisible es valor de  $V_m = 0.25$  kg/cm<sup>2</sup>.

Además, de acuerdo a la norma E.070, para el diseño se deberá utilizar la expresión:

$$V_m \leq \sqrt{f' m}$$

Todos los resultados cumplen satisfactoriamente para ambas normas.

Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 6.44.

Murete	Espesor Promedio	Largo Promedio	Alto Promedio	Diagonal	Presión (psi)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Esfuerzo Último [f't] (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio E. Último [f't] (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Admisible [Vm] (kg/cm <sup>2</sup> )	f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	v(f'm) (kg/cm <sup>2</sup> )
I-1	12.65	64.15	62.75	89.74	1800.00	126.55	3006.66	2.65	2.80	1.12	17.53	4.19
I-2	12.65	64.00	62.50	89.46	2000.00	140.61	3340.74	2.95			17.52	4.19
I-1R	12.50	64.00	62.75	89.63	2100.00	147.64	3507.77	3.13	3.28	1.31	17.53	4.19
I-2R	12.55	63.95	62.45	89.38	2300.00	161.71	3841.85	3.42			17.52	4.19
G-1	12.60	63.75	61.75	88.75	2200.00	154.67	3674.81	3.29	3.26	1.31	36.03	6.00
G-2	12.63	64.35	62.75	89.88	2300.00	161.71	3841.85	3.39			31.66	5.63
G-3	12.60	64.00	62.30	89.32	2100.00	147.64	3507.77	3.12			29.31	5.41
J-1	12.55	63.90	62.40	89.31	2000.00	140.61	3340.74	2.98	2.93	1.17	13.93	3.73
J-2	12.65	63.60	62.10	88.89	1900.00	133.58	3173.70	2.82			12.40	3.52
J-3	12.65	63.50	61.20	88.19	2000.00	140.61	3340.74	2.99			15.43	3.93

Tabla 6-44: Ensayo tracción diagonal de muretes

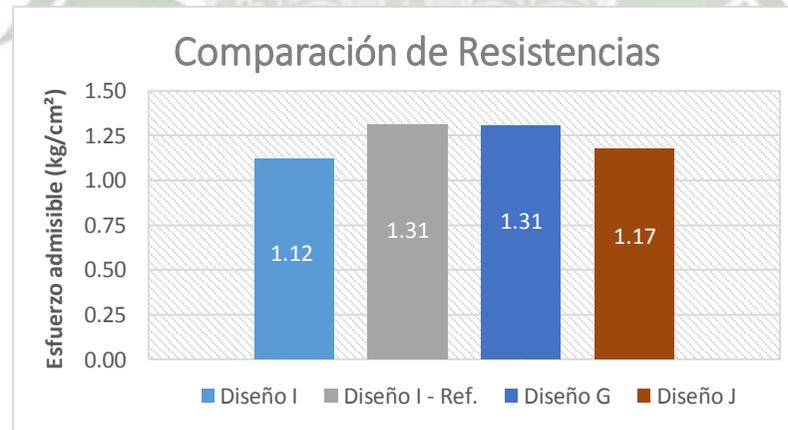


Gráfico 6-37: Comparativo resistencia a la tracción diagonal en muretes de los 3 diseños

## CAPITULO 7. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS



## CAPITULO 7. ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

### 7.1 FABRICACIÓN DE UN LADRILLO SUELO-CEMENTO

Para realizar el costo de elaboración de un ladrillo suelo-cemento, se calculó primero el volumen de mezcla fabricada:

LADRILLO			
material	cemento	suelo	agua
Proporción Peso	1	12.5	2.1
Proporción Volumen	1	11.6	2.1

	Volumen	Volumen	Peso Unitario	Peso (kg)
Cemento	1 pie <sup>3</sup>	0.0283 m <sup>3</sup>	1500 kg/m <sup>3</sup>	42.5 kg
Suelo	12 pie <sup>3</sup>	0.0283 m <sup>3</sup>	1621 kg/m <sup>3</sup>	531.3 kg

	Peso (kg)	Peso Específico	Volumen
Cemento	42.5 kg	2850 kg/m <sup>3</sup>	0.0149 m <sup>3</sup>
Suelo	531.3 kg	2482 kg/m <sup>3</sup>	0.2140 m <sup>3</sup>
Agua	42.5*a/c	1000 kg/m <sup>3</sup>	0.0884 m <sup>3</sup>
	<b>SUBTOTAL</b>		0.3174 m <sup>3</sup>
	Aire (1%)		0.00317 m <sup>3</sup>
	<b>TOTAL</b>		0.3205 m <sup>3</sup>

Tabla 7-1: Dosificación en volumen para la elaboración de ladrillos suelo-cemento

Las dimensiones de los ladrillos son:

Largo	25 cm
Ancho	13 cm
Alto promedio	7 cm
Numero de perforaciones	2
Diámetro de Perforaciones	6.3 cm

Siendo el volumen de un solo ladrillo 0.0018m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta un desperdicio del 3%, un ladrillo se pueden fabricar con

Cemento	0.0115 bls
Suelo	0.0025 m <sup>3</sup>
Agua	0.0010 m <sup>3</sup>

Durante la fabricación de los ladrillos se pudo hallar los siguientes rendimientos y análisis de costos unitarios:

RENDIMIENTOS					
FASES	Actividades	Tiempo (segundos)	# Veces	Parcial (segundos)	
Actividades en paralelo	I	Tamizado del Suelo	240	1	240
		Dosificación de materiales	60	1	60
		Preparación de la mezcla	180	1	180
		<b>Total</b>			480
	II	Prensado de los ladrillos	60	10	600
		<b>Total</b>			600
<b>Rendimiento:</b>				480 ladrillos/día	

Tabla 7-2: Rendimiento de fabricación de ladrillos suelo-cemento con prensa hidráulica mecánica, jornada de 8 horas.

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>PARTIDA:</b>		FABRICACION DE LADRILLO SUELO-CEMENTO			
JORNADA	8 h/d	RENDIMIENTO: Fabricación: 480 ladrillos/día			
DESCRIPCION RECURSO	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0	0.0000	S/. 15.91	S/. 0.00
Operario	hh	1	0.0167	S/. 13.75	S/. 0.23
Oficial	hh	0	0	S/. 10.89	S/. 0.00
Peón	hh	1.5	0.0250	S/. 8.13	S/. 0.20
<b>MATERIALES</b>					
Cemento Puzol añico tipo 1P	bls		0.0055	S/. 20.40	S/. 0.11
Suelo	m³		0.00117	S/. 0.00	S/. 0.00
Agua	m³		0.00048	S/. 8.88	S/. 0.01
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 3%	%		0.030	S/. 0.43	S/. 0.01
Maquina prensadora	hm		0.017	S/. 3.75	S/. 0.06
Mezcladora de 9-11 p3	hm		0.005	S/. 3.75	S/. 0.02
				<b>C.U.</b>	S/. 0.64

Tabla 7-3: ACU para la fabricación de 1 ladrillo suelo-cemento con una prensa hidráulica mecánica

## 7.2 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS

Para evaluar la rentabilidad de este sistema se hará una comparación entre:

- Muro de ladrillos de arcilla cocida.
- Muro de ladrillos suelo-cemento maquina convencional, prototipo propio.

Además también a modo de optimizar costos de este nuevo sistema, se propone una maquina prensadora hidráulica automatizada, que produce los ladrillos a la mitad del tiempo, aumentando su rendimiento.

### 7.2.1 Muro a base de ladrillos suelo cemento con una maquina prensadora hidráulica (prototipo propio).

- Cantidad de ladrillos por m<sup>2</sup> de muro: 52 Und
- Cantidad de mortero por m<sup>2</sup> de muro: 0.00382 m<sup>3</sup>

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>PARTIDA:</b> ASENTADO DE MURO DE LADRILLO SUELO-CEMENTO DE SOGA					
JORNADA		8 h/d	RENDIMIENTO: Colocación:		8.00 m <sup>2</sup> /día
			Acarreo:		19.23 m <sup>2</sup> /día 1000 ladrillos/día
DESCRIPCION RECURSO	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0.1	0.100	S/. 15.91	S/. 1.59
Operario	hh	1	1.000	S/. 13.75	S/. 13.75
Oficial	hh	0	0.000	S/. 10.89	S/. 0.00
Peón	hh	1	0.708	S/. 8.13	S/. 5.75
<b>MATERIALES</b>					
Cemento	bls		0.0452	S/. 20.40	S/. 0.92
Arena	m <sup>3</sup>		0.0016	S/. 45.00	S/. 0.07
Agua	m <sup>3</sup>		0.0016	S/. 8.88	S/. 0.01
Ladrillo 25 x 12.5 x 7	Pz.		52	S/. 0.64	S/. 33.40
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 3%	%		0.030	S/. 21.09	S/. 0.63
Andamio de madera	p <sup>2</sup>		0.580	S/. 3.50	S/. 2.03
Clavos de 3"	kg		0.022	S/. 3.00	S/. 0.07
				<b>C.U.</b>	<b>S/. 58.23</b>

Tabla 7-4: ACU de asentado de ladrillos suelo-cemento por m<sup>2</sup>

### 7.2.2 Muro de ladrillos de arcilla cocida.

- Se usara un ladrillo pandereta (diamante) para tabiquería de dimensiones 22x14x10
- Cantidad de ladrillos por m2 de muro: 38 Und
- Cantidad de mortero por m2 de muro: 0.0342 m3
- Rendimiento: 9.57m2/día

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>PARTIDA:</b>		ASENTADO DE MURO DE LADRILLO PANDERETA DE SOGA			
JORNADA	8 h/d	RENDIMIENTO: Colocación:		9.46 m2/día	
		Acarreo:		27.03 m2/día	1000 ladrillos/día
DESCRIPCION RECURSO	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0.1	0.085	S/. 15.91	S/. 1.35
Operario	hh	1	0.846	S/. 13.75	S/. 11.63
Oficial	hh	0	0.000	S/. 10.89	S/. 0.00
Peón	hh	1	0.571	S/. 8.13	S/. 4.64
<b>MATERIALES</b>					
Cemento	bls		0.218	S/. 20.40	S/. 4.45
Arena	m <sup>3</sup>		0.031	S/. 45.00	S/. 1.40
Agua	m <sup>3</sup>		0.010	S/. 8.88	S/. 0.09
Ladrillo 22 x 14 x 10	Pz.		38	S/. 1.05	S/. 39.90
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 3%	%		0.030	S/. 17.23	S/. 0.53
Andamio de madera	p <sup>2</sup>		0.580	S/. 3.50	S/. 2.03
Clavos de 3"	kg		0.022	S/. 3.00	S/. 0.07

<b>C.U.</b>	S/. 66.07
-------------	-----------

Tabla 7-5: ACU de asentado de ladrillos pandereta por m<sup>2</sup>

Se tiene un costo de S/. 71.28 por m<sup>2</sup> de ladrillo pandereta asentado.

### 7.2.3 Muro a base de ladrillos suelo cemento con maquina prensadora hidráulica automatizada

Es el mismo ladrillo, solo que aumentaría la producción debido a la ventaja de tener una maquina hidráulica, bajando el costo del ladrillo hasta en un 18.2%

RENDIMIENTOS					
FASES		Actividades	Tiempo (segundos)	# Veces	Parcial (segundos)
Actividades en paralelo	I	Tamizado del Suelo	300	1	300
		Dosificación de materiales	90	1	90
		Preparación de la mezcla	180	1	180
	<b>Total</b>				570
	II	Prensado de los ladrillos	30	20	600
<b>Total</b>				600	
<b>Rendimiento:</b>					960 ladrillos/día

Tabla 7-6: Rendimiento de fabricación de ladrillos suelo-cemento con prensa hidráulica automatizada, jornada de 8 horas

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>PARTIDA:</b>		FABRICACION DE LADRILLO SUELO-CEMENTO			
JORNADA	8 h/d	RENDIMIENTO: Fabricación:		960 ladrillos/día	
DESCRIPCION RECURSO	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0	0.0000	S/. 15.91	S/. 0.00
Operario	hh	1	0.0083	S/. 13.75	S/. 0.11
Oficial	hh	0	0.0000	S/. 10.89	S/. 0.00
Peón	hh	1.5	0.0125	S/. 8.13	S/. 0.10
<b>MATERIALES</b>					
Cemento Puzolánico tipo 1P	bls		0.00550	S/. 20.40	S/. 0.11
Suelo	m <sup>3</sup>		0.00117	S/. 0.00	S/. 0.00
Agua	m <sup>3</sup>		0.00048	S/. 8.88	S/. 0.01
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 3%	%		0.030	S/. 0.22	S/. 0.01
Maquina prensadora	hm		0.008	S/. 18.75	S/. 0.16
Mezcladora de 9-11 p3	hm		0.003	S/. 3.75	S/. 0.01
				<b>C.U.</b>	S/. 0.50

Tabla 7-7: ACU para la fabricación de 1 ladrillo suelo-cemento con una prensa hidráulica mecánica

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>PARTIDA:</b> ASENTADO DE MURO DE LADRILLO SUELO-CEMENTO DE SOGA					
JORNADA	8 h/d	RENDIMIENTO: Colocación:		8.00 m <sup>2</sup> /día	
		Acarreo:		19.23 m <sup>2</sup> /día 1000 ladrillos/día	
DESCRIPCION RECURSO	UNID.	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	hh	0.1	0.100	S/. 15.91	S/. 1.59
Operario	hh	1	1.000	S/. 13.75	S/. 13.75
Oficial	hh	0	0.000	S/. 10.89	S/. 0.00
Peón	hh	1	0.708	S/. 8.13	S/. 5.75
<b>MATERIALES</b>					
Cemento	Bls		0.0452	S/. 20.40	S/. 0.92
Arena	m <sup>3</sup>		0.0016	S/. 45.00	S/. 0.07
Agua	m <sup>3</sup>		0.0015	S/. 8.88	S/. 0.01
Ladrillo 25 x 12.5 x 7	Pz.		52	S/. 0.63	S/. 26.21
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas manuales 3%	%		0.030	S/. 21.09	S/. 0.63
Andamio de madera	p <sup>2</sup>		0.580	S/. 3.50	S/. 2.03
Clavos de 3"	kg		0.022	S/. 3.00	S/. 0.07

<b>C.U.</b>	S/. 51.04
-------------	-----------

Tabla 7-8: ACU de asentado de ladrillos suelo-cemento por m<sup>2</sup>

Muro de ladrillo suelo-cemento es S/. 51.04 por m<sup>2</sup>

### Análisis Comparativo

- Muro de ladrillo Pandereta es S/.66.07 por m<sup>2</sup>
- Muro de ladrillo suelo-cemento es S/. 58.23 por m<sup>2</sup>

Se puede apreciar que la diferencia de costos entre el muro de ladrillo pandereta y el muro de ladrillo suelo-cemento es de S/. 7.84, con este nuevo sistema se ahorra cerca del 12% del coste total por m<sup>2</sup>.

Si se optimiza la producción de ladrillos suelo-cemento con una maquina prensadora hidráulica automatizada se ahorra S/. 15.03 por m<sup>2</sup>, cerca del 23%. Claro está que se necesita una inversión más fuerte, pero la productividad es mucho mayor.

## CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo están relacionadas con los objetivos propuestos al principio del mismo. Según los resultados obtenidos y discutidos en los capítulos anteriores las conclusiones que se han considerado más importantes para el fin de esta tesis, son las siguientes:

### **a. Material novedoso para la construcción.**

- El producto final denominado ladrillo suelo-cemento, satisface completamente las expectativas de esta investigación. Este novedoso tipo de ladrillo sin cocción, potencia su valor ecológico sobre todo por el ahorro energético que se produce en el proceso de su fabricación. Nos encontramos frente a un producto con óptimas características mecánicas, obteniéndose óptimos resultados de resistencia a compresión tanto como unidad, pila o murete. Además la apariencia del mismo es totalmente innovadora.

### **b. Composición óptima de los ladrillos suelo – cemento**

- Tras la búsqueda de la dosificación más adecuada para la fabricación de los ladrillos suelo - cemento, se llega a la conclusión que la proporción con mejores resultados comprende Arena entre 55% – 65 %, Limo entre 10 – 20% y Arcilla 25%.
- Es fundamental que la cantidad de agua añadida sea lo más cercana posible al contenido óptimo de humedad, para la dosificación presentada el contenido de agua debe encontrarse entre 14% - 15%.
- Se evidencia que para considerar una mezcla adecuada para la elaboración de los ladrillos, los límites de consistencia deben encontrarse en el orden de 45% a 50% para Límite Líquido y de 20% a 22% para Límite Plástico.

### **c. Proceso constructivo**

Al tratarse de un trabajo de investigación, se logró determinar el proceso constructivo más adecuado para este material.

- La mezcla se debe preparar con el contenido óptimo de humedad, realizar un premezclado en seco durante un minuto en el trompo y a continuación añadir la cantidad de agua necesaria, se retoma el mezclado durante 4 minutos más con la finalidad de garantizar la homogeneidad de la mezcla. A continuación, se procede a la compactación de las muestras con la máquina prensadora con una presión de 4500 lb/in<sup>2</sup>.
- El tiempo de curado ideal es de siete días, considerando la cuenta desde el día siguiente de su fabricación. Se trata de evitar una evaporación de agua excesiva de manera muy brusca con mantas de polar húmedas.
- Para el almacenamiento a partir del octavo día se apilan en pilas hasta la altura de cinco filas de tal forma que se permita la circulación de aire entre ellos.
- El tiempo óptimo para ser utilizados para la construcción es de treinta días.

### **d. Resultados del diseño óptimo**

Se considera el diseño "G" aquel que presenta mejores resultados a nivel de ensayos, siendo los principales los siguientes:

- El esfuerzo último promedio de los muretes hechos con ladrillos prensados de suelo-cemento fue de  $f_t = 3.26 \text{ kg/cm}^2$ . Siguiendo la Norma de Adobe E.080, el esfuerzo admisible al corte del muro fue de  $V_m = 1.31 \text{ kg/cm}^2$ .

- La resistencia a compresión axial para las pilas, fue de  $f'm = 32.33$  kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con la Norma de Albañilería E.080, la resistencia admisible a compresión axial resulta  $f_m = 8.08$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la compresión para la unidad fue 84.40 kg/cm<sup>2</sup>.
- El contenido de impurezas orgánicas fue de 1.37%, el cual no sobrepasa el límite de 2%.
- El resultado para el ensayo de Absorción fue de 18.1 %. Según el RNE el valor máximo permisible de absorción es de 22%, por lo que el valor obtenido cumple satisfactoriamente con esta premisa.
- En cuanto al ensayo de Succión se obtiene 66 g/min.
- La variación dimensional presentada fue para altura dentro del orden de 1.65% de variación por defecto, ancho 1.18% variación por exceso y largo 0.59% variación por exceso.

#### **e. Análisis de costos**

Con este nuevo sistema se ahorra cerca del 12% del coste total. Concretamente S/. 7.84 por m<sup>2</sup>

- Muro de ladrillo Pandereta es S/.66.07 por m<sup>2</sup>
- Muro de ladrillo suelo-cemento es S/. 58.23 por m<sup>2</sup>

Se analizó el rendimiento de producción de ladrillos con una maquina automatizada

- Muro de ladrillo suelo-cemento es S/. 51.04 por m<sup>2</sup>

Se ahorra S/. 15.03 por m<sup>2</sup>, cerca del 23%. Claro está que se necesita una inversión inicial más fuerte, pero la productividad es mucho mayor.



**RECOMENDACIONES Y LÍNEA  
DE INVESTIGACIÓN**

## RECOMENDACIONES

La tesis presentada al tratarse de un trabajo de investigación y experimentación constante, ha permitido seleccionar ciertas acciones para mejorar la fabricación y los resultados de los ladrillos suelo –cemento.

Las cuales se presentan a continuación:

- Si se realiza un mezclado manual de la tierra, la cantidad recomendada para mejor trabajabilidad, es la equivalente para quince ladrillos.
- Es importante controlar la humedad óptima de la mezcla, un método sencillo y rápido es formar una bola de suelo húmedo para después soltarla desde una altura aproximada de 1m sobre una superficie plana y dura. Cuando la bola se fractura en trozos grandes, es porque la humedad es la correcta. Si la bola no se fractura o se pulveriza, significa que la humedad es excesiva o la mezcla está muy seca, respectivamente.
- Con respecto al tiempo de curado se recomienda curar los ladrillos por siete días a partir del día siguiente de su fabricación con mantas de polar húmedas, una vez cumplido este plazo los ladrillos se pueden apilar hasta la altura de cinco filas para los próximos días de secado hasta llegar a los 30 días para su utilización.
- La importancia de un correcto mortero de pega es fundamental, se recomienda para mayor facilidad trabajar con mangas que permitan colocar correctamente el mortero.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de ampliar la valorización de un novedoso material constructivo, como lo son los ladrillos suelo-cemento, se proponen algunas de estas futuras líneas de investigación:

- ***Estudio del comportamiento estructural del ladrillo.***

Los resultados obtenidos en la presente tesis evidencian que los ladrillos pueden ser usados también estructuralmente, por lo cual se sugiere profundizar en el estudio de manera experimental para comprobar su comportamiento sísmico, utilizando el procedimiento constructivo que el ladrillo suelo - cemento propone, donde las columnas se refuerzan interiormente, utilizando los alveolos del mismo ladrillo para colocar tanto el refuerzo como las tuberías para instalaciones eléctricas y sanitarias.

- ***Adición de aditivos y fibras en la composición de los ladrillos.***

Estudio de la utilización tanto de diferentes aditivos como fibras para determinar una óptima correspondencia de los mismos en referencia a la obtención de una mejora en las características mecánicas del ladrillo y propiedades físicas.

- ***Efecto en las propiedades mecánicas, al sustituir cemento por cal.***

Para mejorar el material tierra se realizan estabilizaciones químicas incorporando cal o cemento, en este trabajo se optó por el uso de cemento por tratarse del material de construcción por excelencia. Sin embargo se propone sustituir a este por “Cal” con el propósito de establecer diferencias y comparaciones entre ambos resultados.

- ***Elaboración de normativa peruana específica para Ladrillos Suelo – Cemento.***

Al ser los Ladrillos Suelo – Cemento, un material constructivo innovador y ante la falta de un marco legal muchos países intentan normalizar su uso,

como es el caso de España al presentar la norma UNE 41410. Es por ello que como punto de partida sería interesante que en nuestro país se adopte una de estas normas y se las vaya perfeccionando de acuerdo a nuestra realidad y a los resultados de esta y futuras investigaciones.





## GLOSARIO

## GLOSARIO

- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
*Asociación Brasileña de Normas Técnicas*
- Adobe** Masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros. Son conocidos como adobes en castellano y portugués, “briques crues” en francés o “mud bricks” en inglés.
- AENOR** Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Alvéolo** Hueco que puede atravesar o no una pieza para fábrica de albañilería.
- ASTM** American Society for Testing Materials.
- Bloque** Unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.
- Bloque de tierra comprimida** Producto obtenido por comprensión de tierra húmeda, seguida de un desmolde y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar ciertas propiedades. Conocido en inglés como “compressed earth block - CEB”.
- Bloque suelo-cemento** Término utilizado en algunos países como Brasil o Argentina para referirse al bloque de tierra comprimida. La Asociación de cementos Portland (Portland Cement Association, PCA) lo define como tierra apisonada a la que se le ha agregado una pequeña cantidad de cemento (alrededor del 10%).
- BTC** Bloque de tierra comprimida.

<b>Cara de apoyo</b>	Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.
<b>Cohesión</b>	Es la fuerza que mantiene unido al suelo, debido a la tracción entre sus partículas, se entiende también como la resistencia a tracción del barro en estado plástico. Depende del contenido y tipo de arcilla y del contenido de agua.
<b>Dimensión efectiva</b>	Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.
<b>Dimensión nominal</b>	Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.
<b>Durabilidad</b>	Capacidad para soportar, durante el periodo de servicio para el que ha sido proyectado el edificio y con la composición, propiedades y comportamiento de los materiales, las condiciones físicas y químicas a las que estará expuesto (CTE).
<b>Exposición severa</b>	Fábrica de albañilería o elementos de albañilería que, bajo las condiciones de uso finales, están sometidas a la saturación con agua de lluvia (lluvia dirigida, agua subterránea) en combinación con ciclos de hielo/deshielo frecuentes, debido a las condiciones climáticas y a la ausencia de protecciones.
<b>Fisura</b>	Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.
<b>Hueco</b>	Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fábrica de albañilería.

<b>ICONTEC</b>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas Certificación.
<b>INDECOPI</b>	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual.
<b>INV</b>	Instituto Nacional de Vías.
<b>Ladrillo</b>	Unidad que por su dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano.
<b>Sección bruta (Sb)</b>	Área obtenida al multiplicar las dos dimensiones efectivas, anchura y longitud, medidas en la misma sección horizontal. Salvo indicación en contra, la sección bruta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.
<b>Sección de apoyo (Sa)</b>	Superficie común de las partes de la cara de colocación y de la cara de apoyo superpuestas a las juntas de mortero y susceptibles de transmitir las cargas.
<b>Sección neta (Sn)</b>	Área de una sección horizontal de la tierra comprimida, excluidos los vacíos. Salvo indicación contraria, la sección neta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.
<b>SENCICO</b>	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
<b>Tapial</b>	Muros de tierra húmeda compactada, por medios manuales o mecánicos, dentro de un encofrado o molde, que tradicionalmente se le llama tapial. Recibe los nombres de "pisé" en francés, "rammed earth" en inglés o "taipa" en portugués.
<b>UNE</b>	Unión Nacional Española.



## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. de Oteiza, «Introducción a la Construcción con Tierra.,» de *"Arquitectura y Construcción de Tierra"*, Tradición e Innovación., 2002.
- [2] M. Blondet, G. Villa y S. Brzev, "Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos.", Enciclopedia Mundial de Vivienda del EERI/IAEE, 2003.
- [3] F. V. Cossío, «La Arquitectura Tradicional como Expresión de la Cultura Popular y Manifestación de su Matriz Vernácula,» de *"Arquitectura y Construcción de Tierra"*, Tradición e Innovación, 2002.
- [4] F. Ortega, «Historia de la Construcción,» Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canarias, 2009. [En línea]. Available: [http://editorial.cda.ulpgc.es/estructuras/construccion/1\\_historia/index.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/estructuras/construccion/1_historia/index.htm).
- [5] F. Gatti, «Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra,» de *"Arquitectura y Construcción en Tierra"*, Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2012.
- [6] R. Sepúlveda y J. Vega, «Propiedades Físicas y Químicas del adobe,» Universidad Internacional SEK, Santiago de Chile. 2007, [En línea]. Available: <http://sepulvedavega.blogspot.com/>.
- [7] L. Maldonado y D. Rivera, «La Arquitectura Construida con Tierra en el Umbral del Siglo XXI,» de *"Arquitectura y Construcción de Tierra"*, Tradición e Innovación, 2002.
- [8] Ministerio de Vivienda, "Norma E.080: Adobe", Gobierno de Perú, 10 de junio de 2006.
- [9] R. Rotondaro, «Adobe,» de *"Técnicas de Construcción con Tierra"*, REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA, 2011.
- [10] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, "Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia", Colombia: Fondo Para La Reconstrucción y Desarrollo Social Del Eje Cafetero.
- [11] UPTC – CEDEC, *"Revista Facultad de Ingeniería"*, vol. 20, nº 31, Julio-Diciembre 2011.
- [12] S. Bestraten, E. Hormías y A. Altemir, «Construcción con tierra en el siglo XXI,» *"Informes de la Construcción"*, vol. 63, nº 523, 2011.
- [13] «Red construTIERRA, red de investigación en tierra de España,» [En

- línea]. Available:  
[http://www.construtierra.org/construtierra\\_construir\\_con\\_tierra.html](http://www.construtierra.org/construtierra_construir_con_tierra.html).
- [14] Asociación de estudio de la tierra como material de construcción y de cooperación entre Francia y Argentina, «Tierra Construida / Terre Construite,» [En línea]. Available: <http://terreconstruite.unblog.fr/>.
- [15] A. Das, J. Alam, N. Hoque y M. Shariful, «Mud House of Bangladesh,» de "World Housing Encyclopedia", 2007.
- [16] M. Choudhary, K. S. Jaiswal y . R. Sinha, «Traditional rural house in Kutch region of India (bhonga),» de "World Housing Encyclopedia", 2002.
- [17] M. Sassu y I. Ngoma, «Unburnt brick wall building with pitched roof (nyumba ya zidina),» de "World Housing Encyclopedia", 2002.
- [18] Gobierno de España, UNE 41410: "Bloques de tierra comprimida", AENOR, diciembre de 2008.
- [19] S. Chang-Seon , S. Don y G. Z. Dan, «Potential use of stockpiled circulating fluidized bed combustion ashes in manufacturing compressed earth bricks.,» de *Construction and Building Materials*, Elsevier, 2009.
- [20] Y. Sükrü, Ç. Özlem y Ç. Ahmet, «The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes,» de *Construction and Building Materials*, Elsevier, 2009.
- [21] I. Cañas y C. Jiménez, «The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review.,» de *Construction and Building Material*, Elsevier, 2007.
- [22] HYDRAFORM, *Revista Cemento*.
- [23] "Proyecto de construccion de modulos anejas a viviendas en Jujuy", Jujuy, Argentina.
- [24] C. E. Alderete, L. E. Arias, R. F. Mellace, S. M. Latina, M. E. Sosa y I. C. Ferreyra, Mamposteria con Tierra Estabilizada Comprimida, Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad Nacional de Tucumán.
- [25] G. E. Choque Ruelas y J. Huaman Meza, Adobes Comprimidos Suelo-Cemento Una Alternativa Ecológica, ICG.
- [26] C. Apablaza, "Estudio de análisis de los bloques de tierra comprimida, BTC", Temuco, Chile: Universidad de La Frontera, 2012.
- [27] O. Vilugron, «"Bioconstrucción: ladrillos ecologicos como alternativa",»

- Obras y Protagonistas*, vol. XXIII, nº Nro.226, Agosto, 2014.
- [28] J. E. Sequeira, "Temas sobre materiales de construcción", Ciudad de la Habana, Cuba: Pueblo y Educación, 1976.
- [29] E. R. Lopez, "Durabilidad y patologia del concreto", Lima: ICG, 2006.
- [30] E. García Romero y M. Suárez Barrios, «Las Arcillas: Propiedades y Usos,» [En línea]. Available: <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm>.
- [31] «ARQHYS Arquitectura y Decoracion,» [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html/>.
- [32] Universidad Católica del Norte - Chile, «Laboratorio Mecanica de Suelos, "Limos",» [En línea]. Available: <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/tiposM2.htm>.
- [33] A. C. Moreno, "Estudio técnico - económico de una fábrica de cemento portland para la obtención de 1.000.000 de TM al año", España: Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech, 2009.
- [34] R. Etchebarne, G. Piñeiro y J. C. Silva, "Montaje de Prototipos de Vivienda a través de la Utilización de Tecnologías en Tierra: Adobe, Fajina y BTC.", Uruguay: Unidad Regional de Estudios y Gestión del Hábitat, 2005.
- [35] G. E. U., Estabilizantes para los Adobes, Medellín, Colombia.
- [36] G. Minke, Manual de construcción en tierra, Alemania: Fin de Siglo, 2005.
- [37] Universidad Central de Venezuela, Diseño y Construcción de un Muro Confinado de Bloques Aligerados de Suelo Cemento.
- [38] Universidad de la Cuenca, Evaluación Estructural Del Efecto Del Mortero De Pega Sobre Probetas De Muro De Ladrillo De Tierra Compactada Bajo Esfuerzos De Compresión Axial.
- [39] Universidad de Granada, «"Morteros de Construcción y Ornamentación",» [En línea]. Available: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>.
- [40] E. L. Salamanqués, "Guía para Morteros con Cal", España: AIDICO, ANCADE.
- [41] American Concret Institute, "ASTM C270: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry", EEUU, 2014.
- [42] Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola, «Morteros,» Ciudad Real,

Universidad de Castilla-La Mancha.

- [43] R. Convit, «Arquitectura Popular,» [En línea]. Available:  
<http://convit.blogspot.com/2006/06/dosificacin-en-la-mezcla-tierra.html>.
- [44] J. L. A. Cabrera, Y. Fernandez Collazo, N. Gonzáles Ramírez y S. Bermudez Valles, «Morteros a base de suelos. Caracterización,» *"Materiales de Construcción"*, vol. 50, nº 258, abril/mayo/junio 2000.
- [45] J. Seisdedos, «BTC-Bloques de tierra comprimida,» de *"Unidad de producción de materiales de bioconstrucción"*, Madrid (España), Ayuntamiento Berzosa del Lozoya: 18, 2009.





## ÍNDICE DE TABLAS

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 1-1: Variables consideradas para el estudio .....	7
Tabla 2-1: Datos numéricos de algunas de las características del tapial .....	18

### CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

Tabla 2-2: Cuadro comparativo con las resistencias a compresión de algunas de las técnicas de construcción con tierra. ....	21
Tabla 2-3: Normativa de Tierra en el ámbito mundial .....	28
Tabla 2-4: Investigaciones previas y dosificación que recomiendan .....	33

### CAPÍTULO 3 LADRILLOS SUELO-CEMENTO

#### CAPÍTULO 4 MORTEROS DE PEGA

Tabla 4-1: Usos para mortero de cal y arena.....	55
Tabla 4-2: Cantidad de agua recomendable según uso de mortero de yeso .....	55
Tabla 4-3: Especificación de mortero de cal y cemento por proporciones .....	56
Tabla 4-4: Especificación de mortero de cal y cemento por propiedades .....	56
Tabla 4-5: Proporción, usos y resistencia de morteros de cemento .....	58
Tabla 4-6: Tipos de suelos considerados para la fabricación de mortero según clasificación de suelos AASHTO .....	59
Tabla 4-7: proporción y resistencia de morteros de cemento para diferentes tipos de suelos.....	59

#### CAPÍTULO 5 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Tabla 5-1: Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo .....	104
--	-----

#### CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 6-1: Alabeo de los 15 diseños de la I fase .....	109
Tabla 6-2: Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase .....	111
Tabla 6-3: Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase .....	113
Tabla 6-4: Variación dimensional del largo de los 15 diseños de la I fase .....	115
Tabla 6-5: Resistencia a la compresión de los 15 diseños de la I fase .....	117
Tabla 6-6: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/arcilla.....	118
Tabla 6-7: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arcilla/limo .....	119
Tabla 6-8: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/limo .....	120
Tabla 6-9: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en el tamaño de partícula de arcilla .....	121
Tabla 6-10: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en la procedencia de la arena.....	122
Tabla 6-11: Resistencia a la compresión entre diseños base con dosificaciones extremas .....	123
Tabla 6-12: Alabeo de los 07 diseños de la II fase .....	125
Tabla 6-13: Variación dimensional de la altura de los 07 diseños de la II fase .....	126
Tabla 6-14: Variación dimensional del largo de los 07 diseños de la II fase .....	127

Tabla 6-15: Variación dimensional del ancho de los 07 diseños de la II fase.....	128
Tabla 6-16: Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase .....	130
Tabla 6-17: Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento .....	134
Tabla 6-18: Resistencia a la compresión del diseño I con diferente forma de curado	136
Tabla 6-19: Alabeo diseño G fase III .....	137
Tabla 6-20: Alabeo diseño I fase III .....	137
Tabla 6-21: Alabeo diseño J fase III .....	138
Tabla 6-22: Variación dimensional diseño G fase III.....	139
Tabla 6-23: Variación dimensional diseño I fase III.....	140
Tabla 6-24: Variación dimensional diseño J fase III.....	141
Tabla 6-25: Resistencia a la compresión de unidades del diseño G .....	143
Tabla 6-26: Resistencia a la compresión de unidades del diseño I.....	146
Tabla 6-27: Resistencia a la compresión de unidades del diseño J .....	149
Tabla 6-28: Densidad volumétrica de unidades del diseño G .....	152
Tabla 6-29: Densidad volumétrica de unidades del diseño I.....	153
Tabla 6-30: Densidad volumétrica de unidades del diseño J.....	154
Tabla 6-31: Densidad volumétrica de unidades promedio de los 3 diseños.....	155
Tabla 6-32: Porcentaje de absorción promedio diseño G a los 10 minutos y a las 24 horas.....	156
Tabla 6-33: Porcentaje de absorción promedio diseño I a los 10 minutos y a las 24 horas.....	158
Tabla 6-34: Porcentaje de absorción promedio diseño J a los 10 minutos y a las 24 horas.....	160
Tabla 6-35: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño G. ....	164
Tabla 6-36: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño I. ....	165
Tabla 6-37: Tasa inicial de absorción de agua por capilaridad, diseño J. ....	166
Tabla 6-38: Succión promedio a los 01 y 10 minutos .....	167
Tabla 6-39: Contenido de impurezas orgánicas de los 3 diseños últimos .....	173
Tabla 6-40: Resistencia a la compresión de cada uno de los morteros según dosificación .....	176
Tabla 6-41: Diseño de mortero mejorado .....	177
Tabla 6-42: resistencia a la compresión del mortero mejorado.....	178
Tabla 6-43: Resistencia a la compresión de pilas.....	181
Tabla 6-44: Ensayo tracción diagonal de muretes.....	186

## **CAPÍTULO 7 ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS**

Tabla 7-1: Dosificación en volumen para la elaboración de ladrillos suelo-cemento..	188
Tabla 7-2: Rendimiento de fabricación de ladrillos suelo-cemento con prensa hidráulica mecánica, jornada de 8 horas .....	189
Tabla 7-3: ACU para la fabricación de 1 ladrillo suelo-cemento con una prensa hidráulica mecánica.....	189
Tabla 7-4: ACU de asentado de ladrillos suelo-cemento por m <sup>2</sup> .....	190
Tabla 7-5: ACU de asentado de ladrillos pandereta por m <sup>2</sup> .....	191
Tabla 7-6: Rendimiento de fabricación de ladrillos suelo-cemento con prensa hidráulica automatizada, jornada de 8 horas .....	192
Tabla 7-7: ACU para la fabricación de 1 ladrillo suelo-cemento con una prensa hidráulica mecánica.....	192
Tabla 7-8: ACU de asentado de ladrillos suelo-cemento por m <sup>2</sup> .....	193



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

### CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

### CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

### CAPÍTULO 3 LADRILLOS SUELO-CEMENTO

### CAPÍTULO 4 MORTEROS DE PEGA

### CAPÍTULO 5 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Gráfico 5-1: Curva granulométrica combinada de la tierra arcillosa .....	64
Gráfico 5-2: Carta de Casagrande del suelo de Yarabamba .....	65
Gráfico 5-3: Curva granulométrica combinada de la tierra limosa.....	67
Gráfico 5-4: Carta de Casagrande del suelo de Pocsi. ....	68
Gráfico 5-5: Curva granulométrica de la arena-ceniza de la cantera de Yarabamba. ...	70
Gráfico 5-6: Curva granulométrica de la arena de la cantera de “La Poderosa”. ....	72
Gráfico 5-7: Diseño A. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	74
Gráfico 5-8: Diseño B. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	75
Gráfico 5-9: Diseño C. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	76
Gráfico 5-10: Diseño D. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	77
Gráfico 5-11: Diseño E. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	78
Gráfico 5-12: Diseño F. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	79
Gráfico 5-13: Diseño G. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	80
Gráfico 5-14: Diseño H. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	81
Gráfico 5-15: Diseño I. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	82
Gráfico 5-16: Diseño J. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	83
Gráfico 5-17: Diseño K. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	84
Gráfico 5-18: Diseño L. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	85
Gráfico 5-19: Diseño M. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	86
Gráfico 5-20: Diseño N. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	87
Gráfico 5-21: Diseño O. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad- densidad .....	88
Gráfico 5-22: Curva granulométrica de todos los diseños definidos encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410 .....	89
Gráfico 5-23: Límites de Atterberg de todos los diseños elaborados, encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410 .....	90
Gráfico 5-24: Relación entre el estado físico del sólido y los límites de consistencias ..	93

## CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y RESULTADOS

Gráfico 6-1: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/arcilla.....	118
Gráfico 6-2: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arcilla/limo .....	119
Gráfico 6-3: Comparativo de la resistencia a la compresión entre diseños con variación en su relación arena/limo .....	120
Gráfico 6-4: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en el tamaño de partícula de arcilla .....	121
Gráfico 6-5: Comparativo de la resistencia entre diseños con variación en la procedencia de la arena.....	122
Gráfico 6-6: Resistencia a la compresión entre diseños base con dosificaciones extremas .....	123
Gráfico 6-7: Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase.....	131
Gráfico 6-8: Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento .....	135
Gráfico 6-9: Resistencia a la compresión del diseño I con diferente forma de curado .....	136
Gráfico 6-10: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño G.....	144
Gráfico 6-11: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño G.....	145
Gráfico 6-12: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño I.....	147
Gráfico 6-13: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño I.....	148
Gráfico 6-14: Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño J.....	150
Gráfico 6-15: Variación de la resistencia a la compresión en función de la edad del espécimen ya tenga 7 o 14 días de curado, diseño J.....	151
Gráfico 6-16: Densidad volumétrica de unidades del diseño G .....	152
Gráfico 6-17: Densidad volumétrica de unidades del diseño I .....	153
Gráfico 6-18: Densidad volumétrica de unidades del diseño J .....	154
Gráfico 6-19: Densidad volumétrica de unidades promedio de los 3 diseños .....	155
Gráfico 6-20: Porcentaje de absorción promedio diseño G durante los 10 primeros minutos .....	157
Gráfico 6-21: Porcentaje de absorción promedio diseño I durante los 10 primeros minutos .....	159
Gráfico 6-22: Porcentaje de absorción promedio diseño G a los 10 minutos y a las 24 horas.....	159
Gráfico 6-23: Porcentaje de absorción promedio diseño J durante los 10 primeros minutos .....	161
Gráfico 6-24: Comparativo del porcentaje de absorción promedio de los 3 diseños durante los 10 primeros minutos .....	162
Gráfico 6-25: Comparativo del porcentaje de absorción promedio de los 3 diseños a las 24 horas.....	163
Gráfico 6-26: Succión en tiempos diferentes, diseño G.....	164
Gráfico 6-27: Succión en tiempos diferentes, diseño I.....	165
Gráfico 6-28: Succión en tiempos diferentes, diseño J.....	166

Gráfico 6-29: Succión en tiempos diferentes, promedio por diseño .....	167
Gráfico 6-30: Ensayo de humectación y secado del diseño G .....	168
Gráfico 6-31: Ensayo de humectación y secado del diseño I.....	169
Gráfico 6-32: Ensayo de humectación y secado del diseño J.....	170
Gráfico 6-33: Comparativo del ensayo de humectación y secado de los 3 diseños finales.....	171
Gráfico 6-34: Ensayo de erosión acelerado para los 3 diseños finales .....	172
Gráfico 6-35: Porcentaje de materia orgánica contenida en cada uno de los 3 diseños últimos.....	173
Gráfico 6-36: Resistencia a la compresión de pilas .....	181
Gráfico 6-37: Comparativo resistencia a la tracción diagonal en muretes de los 3 diseños.....	186





## ÍNDICE DE IMÁGENES

## ÍNDICE DE IMÁGENES

### CAPÍTULO 1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 1-1: Falla por aplastamiento .....	3
Figura 1-2: Falla por efecto de piso blando .....	4
Figura 1-3: Ladrillo artesanal.....	4

### CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

Figura 2-1: Distribución mundial de arquitectura de adobe.....	12
Figura 2-2: Distribución mundial de riesgo sísmico moderado y alto. ....	13
Figura 2-3: Universidad Chiquitana, Muros de adobe cubierta de cerchas de madera incorporando grandes lucernarios, San Ignacio, Bolivia. ....	14
Figura 2-4: Casa tradicional de adobe, Cuzco, Perú. ....	14
Figura 2-5: Moldeado y preparación de adobe. ....	15
Figura 2-6: Metodo constructivo del tapial .....	16
Figura 2-7: Muros de tapial en la Biblioteca Sublette County, Wyoming, EE. UU. ....	17
Figura 2-8: Muros de cob y cubierta captadora de energía solar térmica en el Pabellón de Servicios del Edén Project, Cornwall, Reino Unido.....	19
Figura 2-9: Muros de cob y estructura de cubierta en el Pabellón de Servicios del Edén Project, Cornwall, Reino Unido.....	19
Figura 2-10: Kutcha típica con tejado de estaño en Muktagacha, Mymensingh, Bangladesh.....	20
Figura 2-11: Casa tradicional en zona rural en el distrito Kutch, estado de Gujarat, región de India. ....	20
Figura 2-12: Los elementos clave de soporte de carga .....	21
Figura 2-13: Normativa de Tierra en el ámbito Mundial .....	27

### CAPÍTULO 3 LADRILLOS SUELO-CEMENTO

Figura 3-1: Estabilización Física, mejoramiento de suelo a través de la combinación para cambiar sus propiedades .....	45
Figura 3-2: Maquina prensadora, esquema inicial .....	46
Figura 3-3: Modelo final de la maquina prensadora, con sistema hidráulico.....	47
Figura 3-4: Ensamblado de la maquina prensadora hidráulica .....	48
Figura 3-5: Mecanismo de funcionamiento de maquina prensadora.....	49
Figura 3-6: Prueba en campo para regular el contenido de humedad de la mezcla.....	50
Figura 3-7: Prensado de tierra.....	51
Figura 3-8: Curado y secado de los ladrillos suelo-cemento.....	51

### CAPÍTULO 4 MORTEROS DE PEGA

### CAPÍTULO 5 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Figura 5-1: Plano de ubicación de las canteras de los diferentes tipos de suelo usados en la elaboración de los ladrillos suelo – cemento.....	62
Figura 5-2: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de arcilla en Yarabamba .....	63
Figura 5-3: Tierra arcillosa de la cantera .....	63
Figura 5-4: Tierra de Yarabamba presenta en forma de terrones, y luego de triturarse y tamizarse por la malla #4.....	65

Figura 5-5: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de suelo limoso. ....	66
Figura 5-6: Cantera de Pocsi y maquinaria pesada que usan para la extracción de limos. ....	66
Figura 5-7: Tierra limosa tamizada por la malla #4 .....	67
Figura 5-8: Plano de ubicación y camino tomado para la cantera de arena-ceniza en Yarabamba. ....	69
Figura 5-9: Cantera de Arena ceniza y material tamizado por la malla #4 .....	69
Figura 5-10: Plano de ubicación y camino tomado para la chancadora de agregado “La Poderosa”. ....	71
Figura 5-11: cantera “La Poderosa” y muestra de la arena gruesa.....	71
Figura 5-12: maquina tamizadora.....	91
Figura 5-13: Probetas usadas en el ensayo de granulometría por sedimentación para la tierra arcillosa. ....	92
Figura 5-14: rollitos realizados para determinar el límite plástico del suelo .....	94
Figura 5-15: muestras preparadas para los límites y cuchara de Casagrande .....	94
Figura 5-16: Muestra de suelo compactada .....	95
Figura 5-17: muestra de suelo húmedo para prensarla y ladrillos apilados en la etapa de secado. ....	96
Figura 5-18: muestras de suelo sometidas al ensayo de determinación del contenido de materia orgánica.....	97
Figura 5-19: medios ladrillos luego de estar sumergidos por 24 hrs en agua .....	99
Figura 5-20: esquema de materiales para realizar el ensayo de succión.....	101
Figura 5-21: Esquema del ensayo de succión .....	103
Figura 5-22: Esquema del ensayo de erosión acelerada.....	104
Figura 5-23: determinando alabeo por convexidad de la cara del ladrillo. ....	105
Figura 5-24: Murete sometido al ensayo de tracción diagonal.....	106

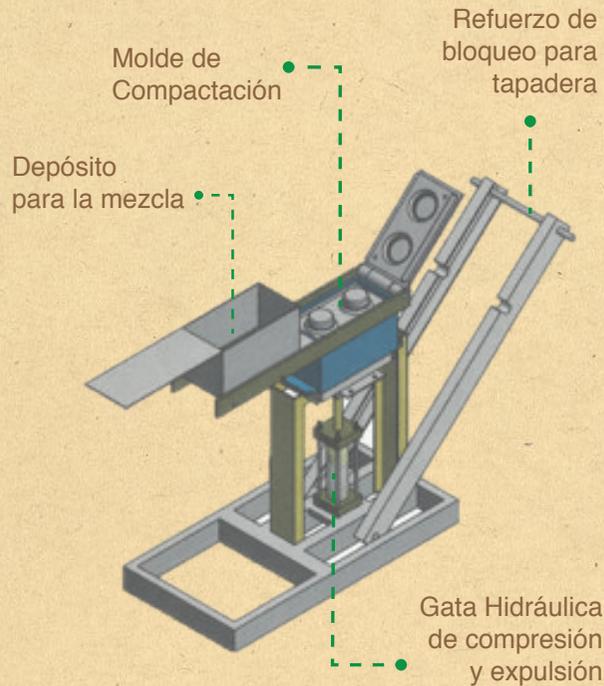
## CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Figura 6-1: medición de un espécimen con vernier .....	111
Figura 6-2: medición del alabeo .....	125
Figura 6-3: toma de medidas de un espécimen.....	129
Figura 6-4: Alabeo con convexidad del espécimen.....	138
Figura 6-5: Toma de medidas con vernier .....	142
Figura 6-6: Espécimen sometido al ensayo de compresión axial.....	145
Figura 6-7: Ladrillo suelo-cemento luego de fallar a compresión simple.....	147
Figura 6-8: pesado de los ladrillos.....	155
Figura 6-9: medios ladrillos ensayados para ver su absorción .....	157
Figura 6-10: medios ladrillos antes y durante el ensayo de absorción .....	159
Figura 6-11: medios ladrillos durante y después del ensayo de absorción .....	161
Figura 6-12: cubos de 10x10 cm para ver la resistencia a la compresión de los morteros.....	174
Figura 6-13: Probetas recién vaciadas. ....	175
Figura 6-14: Probetas luego de ser sometidas al ensayo de compresión simple .....	178
Figura 6-15: construcción de pilas.....	179
Figura 6-16: Tipos de fallas de las pilas luego de ser sometidos al ensayo de compresión axial .....	180
Figura 6-17: Procedimiento de construcción de muretes .....	182
Figura 6-18: tipos de falla de los muretes sometidos al ensayo de tracción diagonal	184



**ANEXOS**

## 3. PRENSADO



Se llena el molde con la cantidad apropiada de mezcla húmeda, luego se cierra la tapadera colocando el refuerzo en posición vertical y se ejerce presión con la gata hidráulica. Después retirar la tapadera y nuevamente, con la gata, expulsar el ladrillo del molde.

## 4. CURADO Y SECADO

El curado ideal requiere de mantas húmedas que mantengan hidratados los ladrillos durante los 7 días posteriores a su fabricación.

Luego, para el secado se apilan las unidades de forma tal que permitan la circulación de aire entre ellas. Este proceso tiene una duración de 21 días, tiempo suficiente para que el ladrillo sea apto para su utilización.



## RESISTENCIA

Estudios demuestran que los Ladrillos Suelo-Cemento cumplen con los requisitos establecidos en la normativa peruana. Actualmente, se proponen como una alternativa para la construcción no estructural (cercos perimétricos).

# MANUAL PRÁCTICO LADRILLOS SUELO-CEMENTO

Autoelaboración de ladrillos  
novedosos, eco-amigables.

### AUTORES

Bach. Milagros Holgado C.

Bach. Rodrigo Prado S.

# INTRODUCCIÓN

Los Ladrillos Suelo-Cemento (LSC), son unidades de albañilería, sometidos a varios procesos que permiten obtener ladrillos de alta resistencia y durabilidad.

La iniciativa de LSC nace como resultado de la investigación titulada “Diseño, elaboración y control de ladrillos suelo cemento para albañilería no estructural como alternativa para la construcción” con el objetivo de aportar al desarrollo de la tecnología y brindar una opción segura y económica para la población.

Por otro lado, los Ladrillos Suelo-Cemento contribuyen a la preservación del medio ambiente ya que, a diferencia de los ladrillos tradicionales, su proceso de fabricación es a través de un prensado mecánico que no involucra la emisión de gases contaminantes.

A continuación se explican brevemente las fases para su elaboración.

## 1. IDENTIFICACIÓN

Se retira la capa superficial del terreno escogido (30 cm. aprox.) y se procede a extraer el suelo que servirá como materia prima para la elaboración de los ladrillos.

## PROPORCIÓN IDEAL EN LA COMPOSICIÓN DEL SUELO



Para determinar si la composición del suelo es la indicada, se recomienda analizarlo en un laboratorio o en su defecto, de manera empírica:

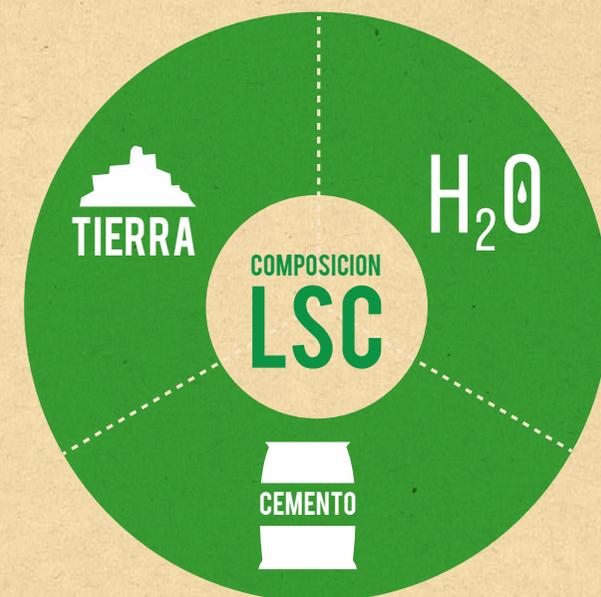
1. Verter tierra hasta la mitad de la capacidad del envase.
2. Agregar dos cucharaditas de sal y agitar por 2 minutos.
3. Dejar reposar hasta que se sedimente el suelo por capas.

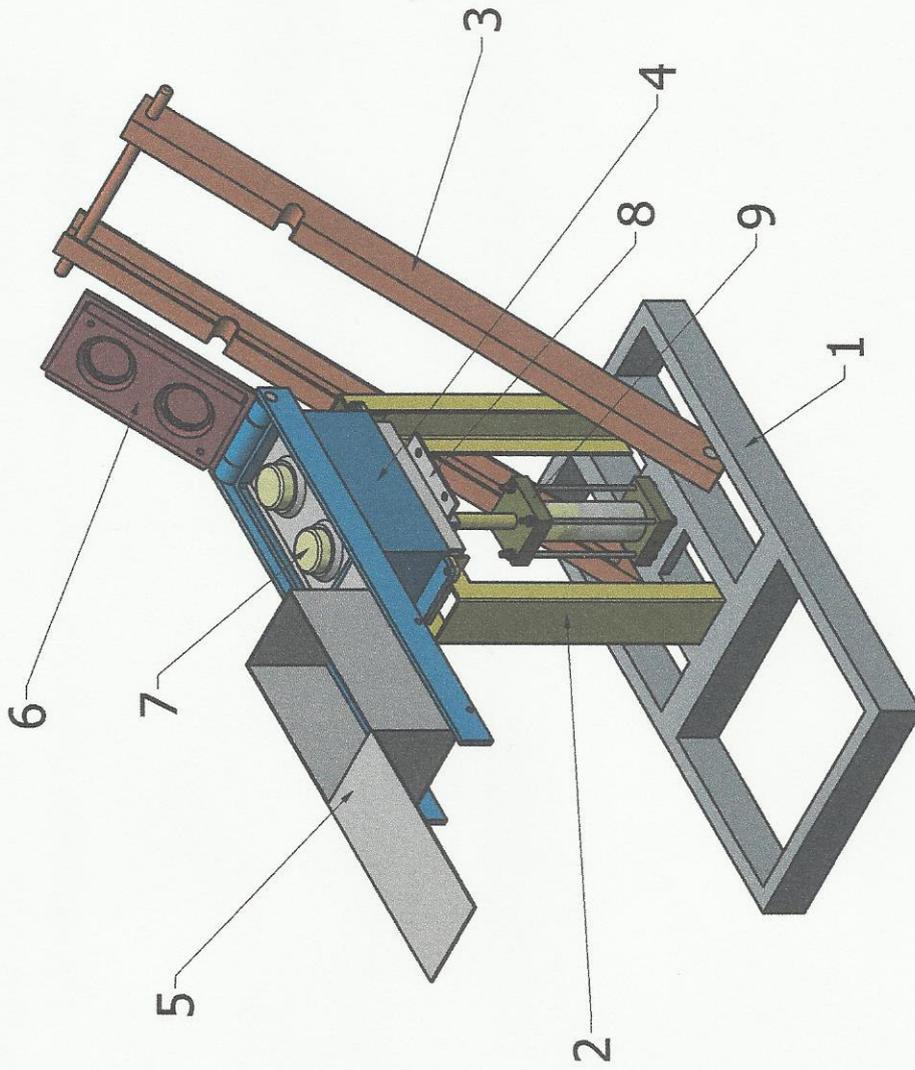
## 2. MEZCLADO

Primero se debe realizar un premezclado en seco, luego se añade agua hasta obtener una mezcla homogénea.

Para saber si la mezcla tiene la cantidad de agua necesaria debe realizarse la siguiente prueba empírica:

1. Se forma una bola de la mezcla húmeda para después soltarla desde una altura aproximada de 1 metro sobre una superficie plana y dura.
2. Si la bola se fractura en trozos grandes, la humedad es la correcta. En caso contrario agregar más agua o mezcla seca.

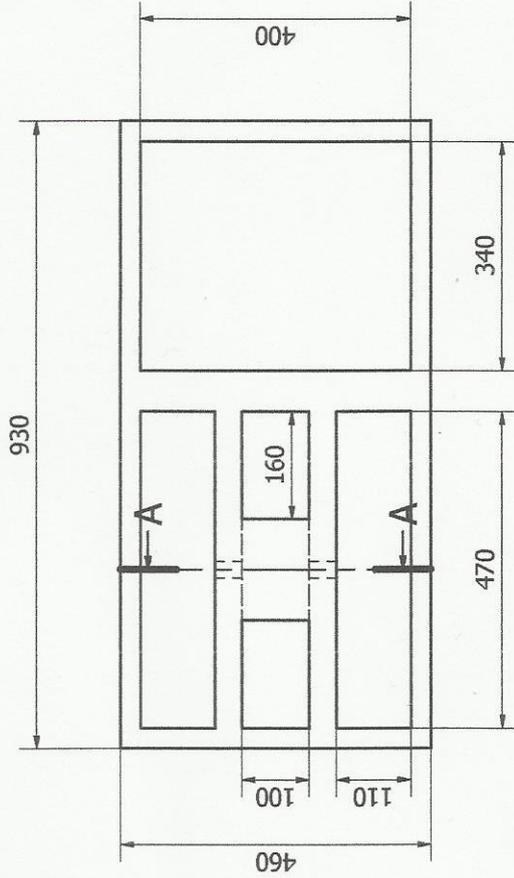




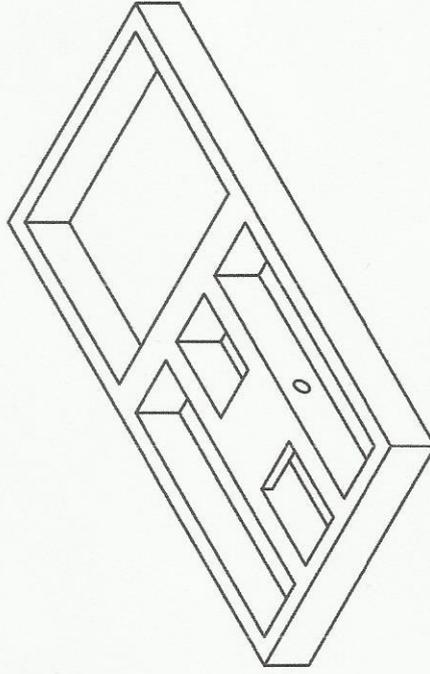
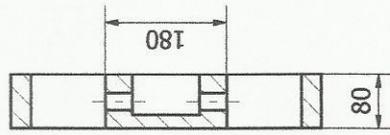
	
<b>UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
<b>PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento</b>	
TESISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA - PRADO SALINAS RODRIGO	
ESCALA: <b>1/12.5</b>	TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"
FECHA: NOVIEMBRE-2015	LAMINA <b>M-01</b>



# PIEZA 1

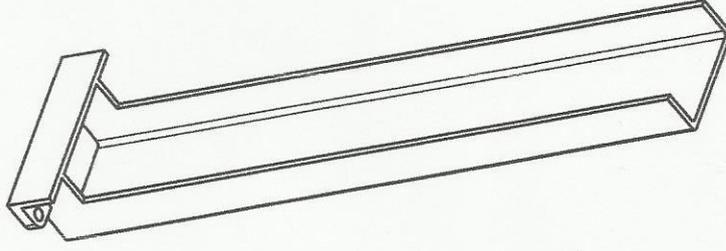
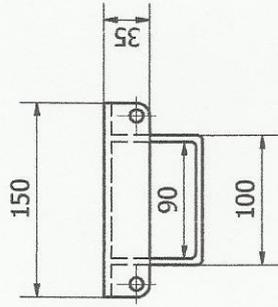
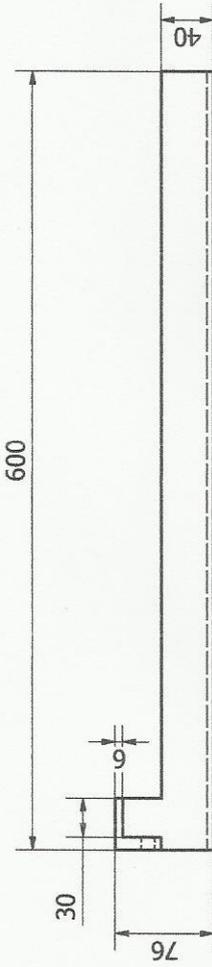


A-A ( 0.13 : 1 )

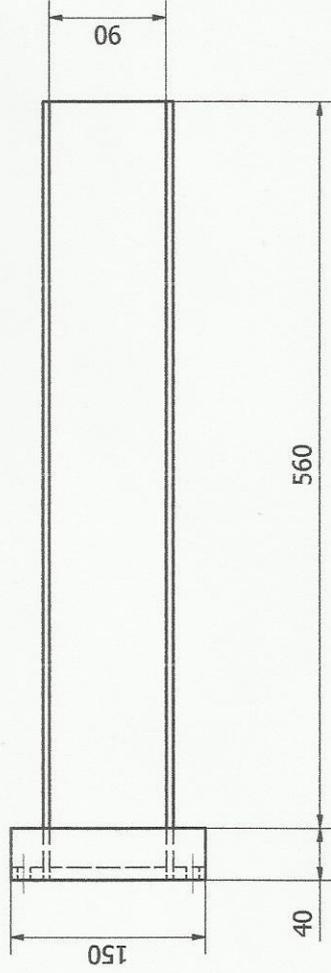


		<b>UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
		PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento	
TESTISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA - PRADO SALINAS RODRIGO		TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBANILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"	
ESCALA: <b>1/12.5</b>	FECHA: NOVIEMBRE-2015	LAMINA <b>M-02</b>	

(Medidas en mm)



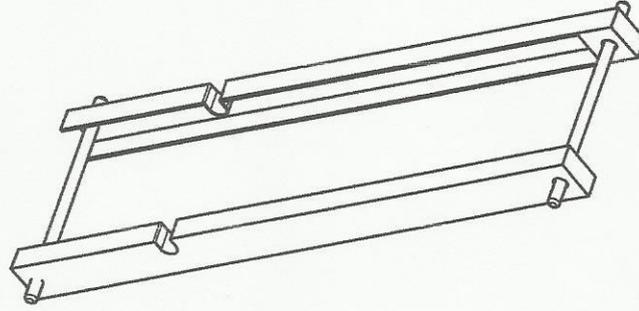
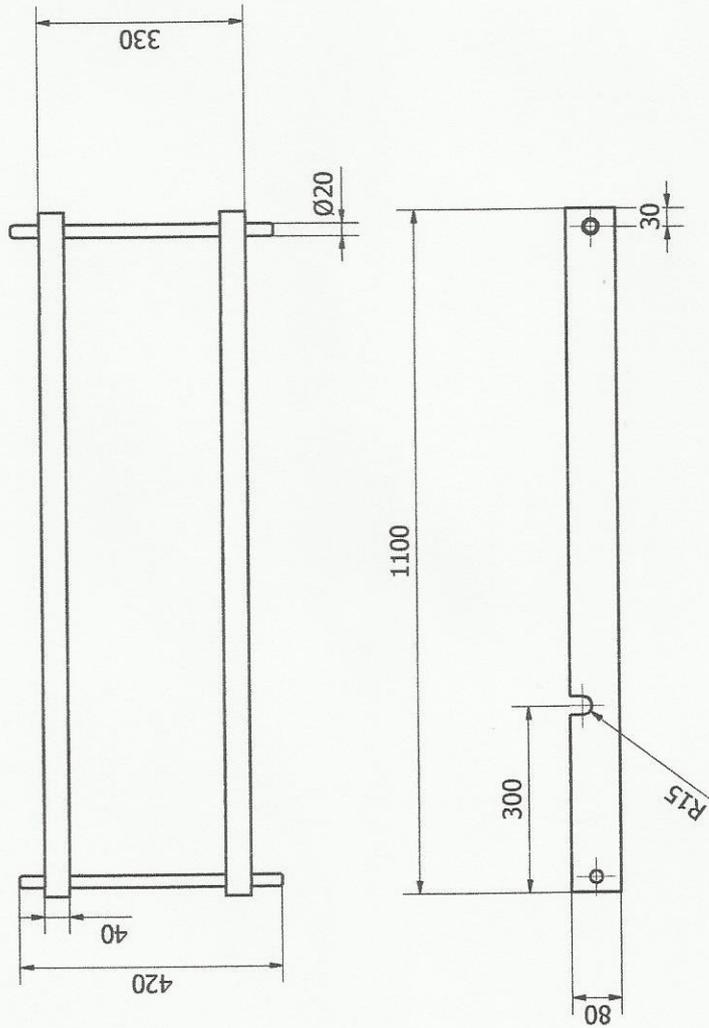
PIEZA 2



(Medidas en mm)

		<b>UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
		PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento	
TESIS : "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"		LAMINA	
ESCALA: 1/12.5		TESIS:	<b>M-03</b>
TESTISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA - PRADO SALINAS RODRIGO		FECHA:	
		NOVIEMBRE-2015	

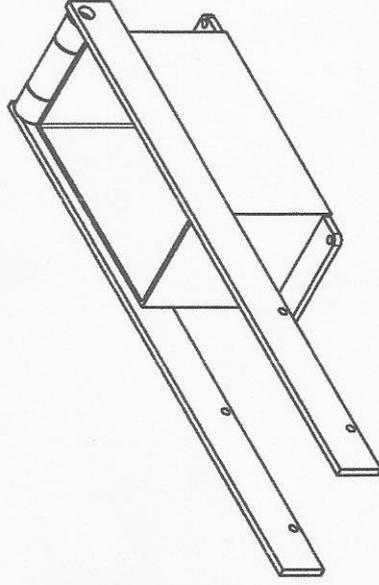
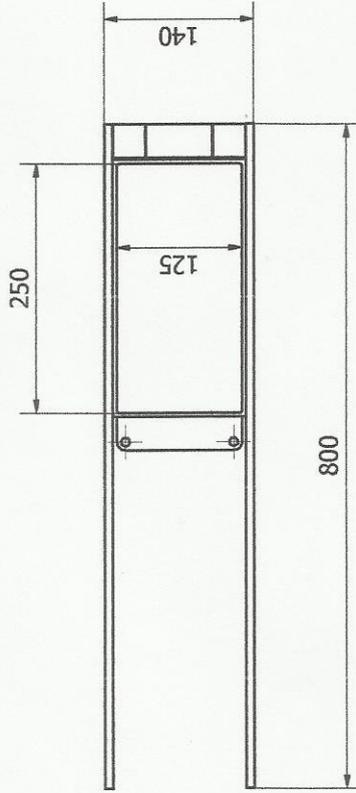
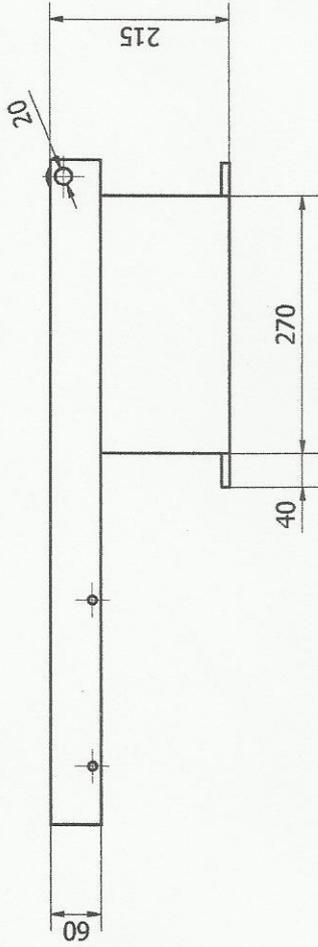
# PIEZA 3



<b>UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento		TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"	
TESIS: - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA - PRADO SALINAS RODRIGO		FECHA: NOVIEMBRE-2015	ESCALA: 1/12.5

(Medidas en mm)

# PIEZA 4



**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento

TESTISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA  
 - PRADO SALINAS RODRIGO

ESCALA: 1/12.5

FECHA: NOVIEMBRE-2015

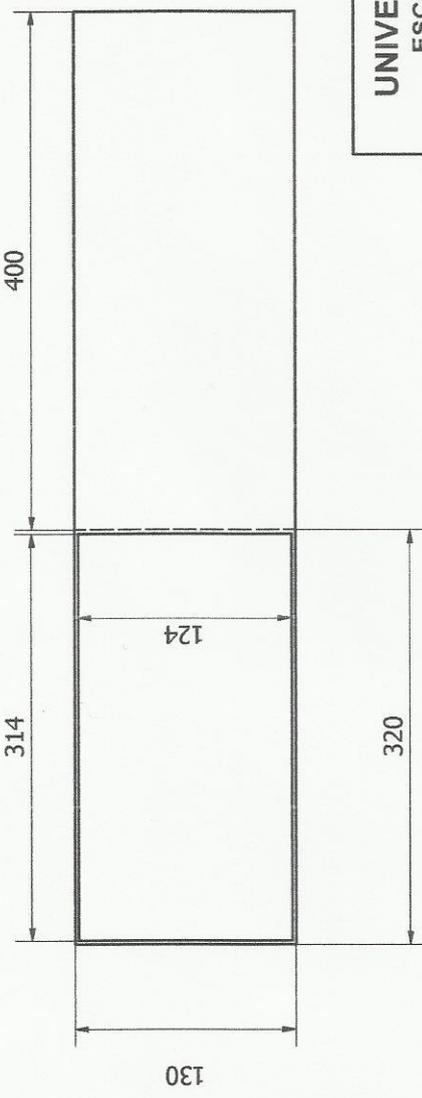
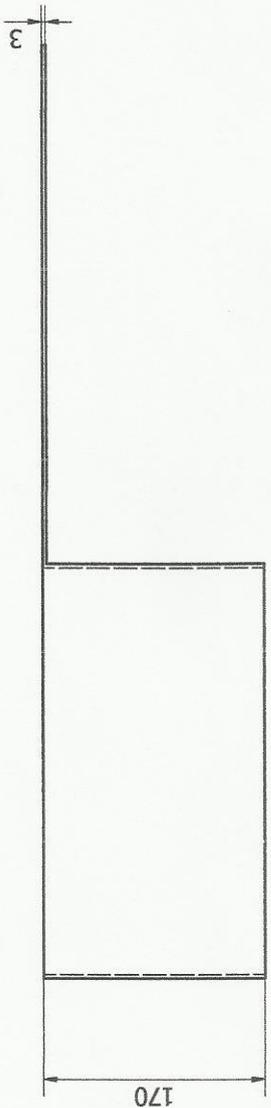
TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"



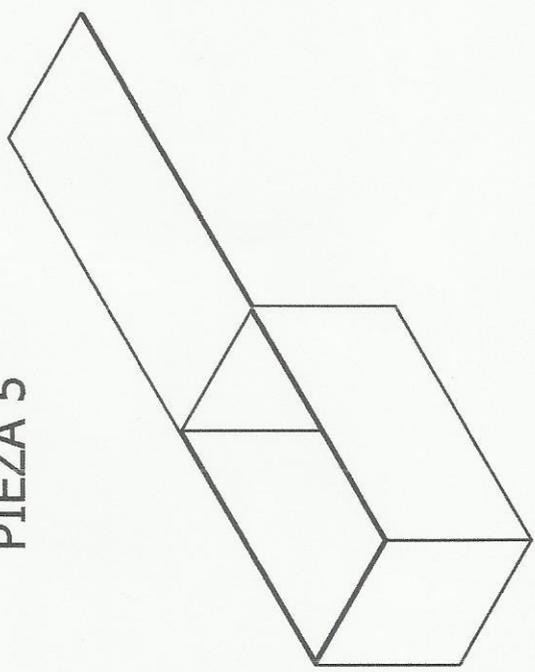
LAMINA

M-05

(Medidas en mm)



PIEZA 5



(Medidas en mm)

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento

TESISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA  
- PRADO SALINAS RODRIGO

ESCALA: 1/12.5

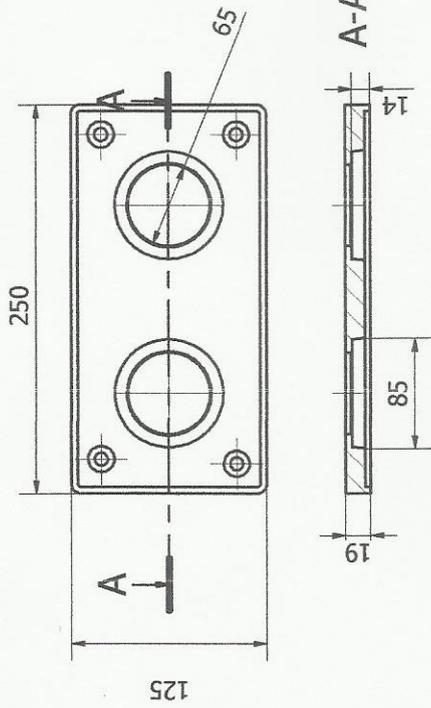
FECHA: NOVIEMBRE-2015

TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"

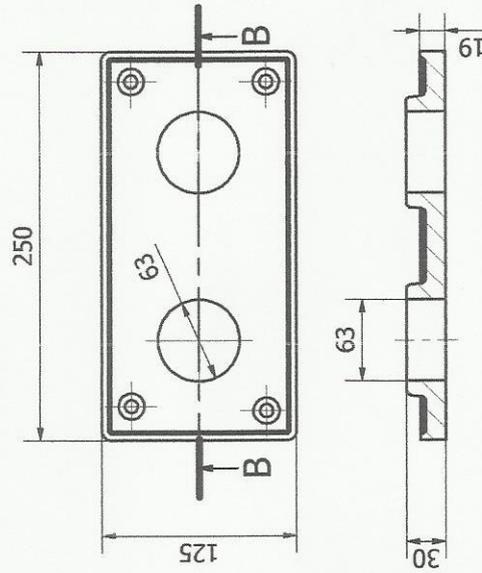
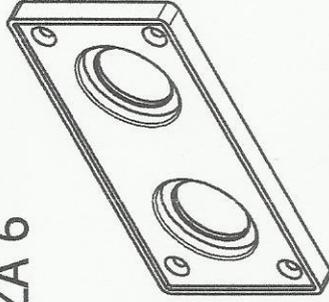


LAMINA

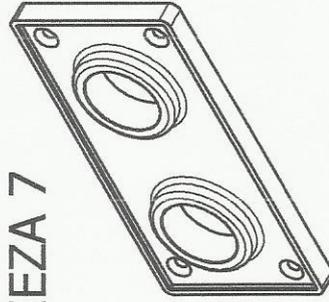
M-06



PIEZA 6



PIEZA 7



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento

TESISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA  
- PRADO SALINAS RODRIGO

ESCALA: 1/12.5

FECHA: NOVIEMBRE-2015

TESIS:

"DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"

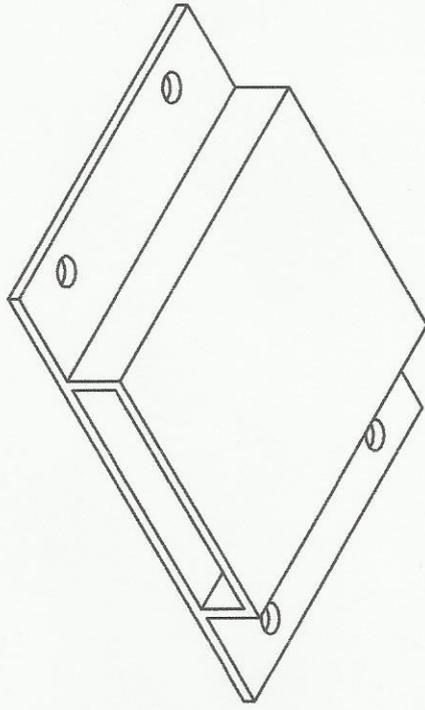
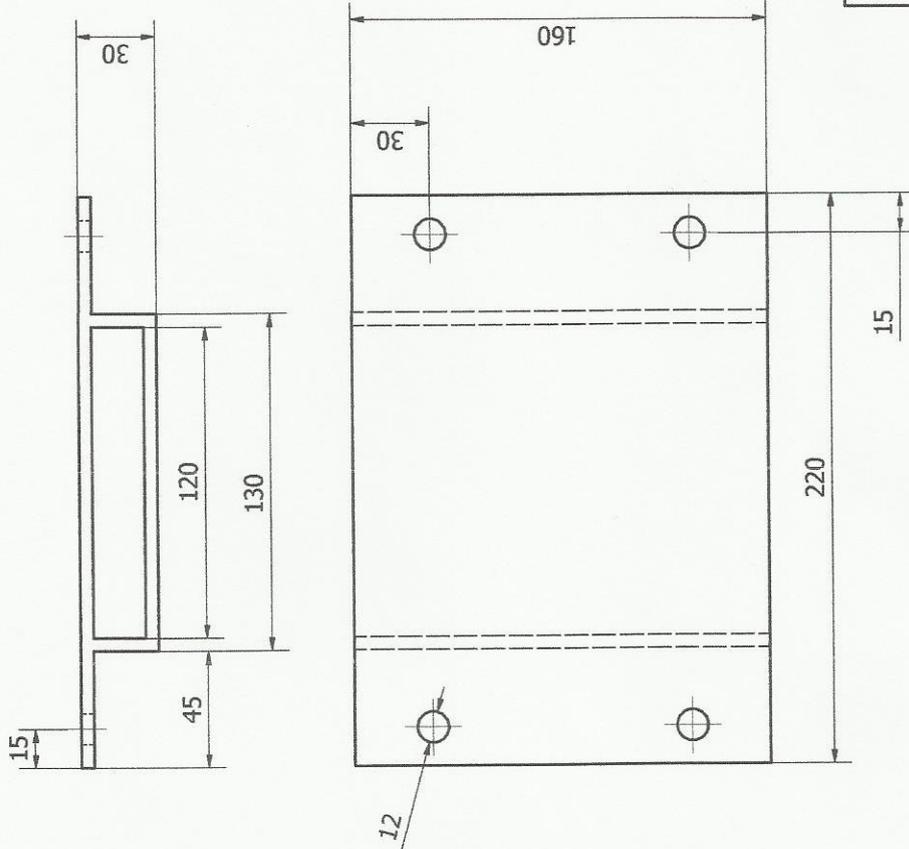


LAMINA

M-07

(Medidas en mm)

# PIEZA 8



**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento

TESISTAS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA  
 - PRADO SALINAS RODRIGO

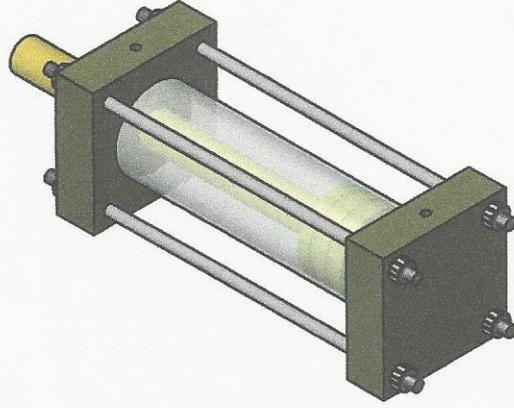
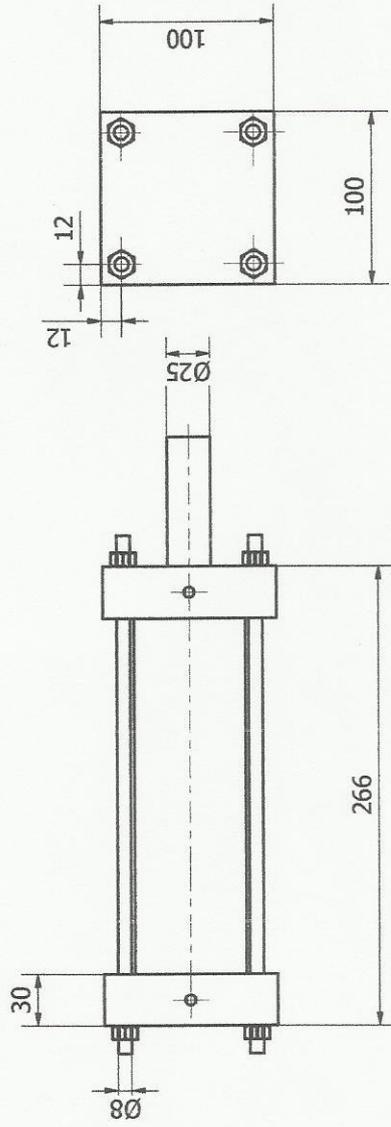
ESCALA: 1/12.5  
 TESIS: "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"



LAMINA  
**M-08**

(Medidas en mm)

# PIEZA 9



<b>UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>			
PLANO : Prensa para ladrillos Suelo-Cemento		LAMINA	
TESIS : - HOLGADO CORNEJO MILAGROS IRASEMA - PRADO SALINAS RODRIGO		M-09	
ESCALA : 1/12.5	FECHA : NOVIEMBRE-2015	TESIS : "DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION"	

(Medidas en mm)

# norma española

UNE 41410

Diciembre 2008

## TÍTULO

**Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques**

**Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo**

*Compressed earth blocs for walls and partitions. Definitions, specifications and test methods.*  
*Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, spécifications et méthodes d'essai.*

## CORRESPONDENCIA

## OBSERVACIONES

## ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 55496:2008

© AENOR 2008  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

26 Páginas

**Grupo 13**

## ÍNDICE

	Página
0	INTRODUCCIÓN..... 4
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN ..... 4
2	NORMAS PARA CONSULTA..... 4
3	TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS..... 5
3.1	Términos y definiciones de los productos..... 5
3.2	Símbolos ..... 7
4	MATERIALES Y FABRICACIÓN ..... 7
5	ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA ..... 7
5.1	Generalidades ..... 7
5.2	Dimensiones y tolerancias..... 7
5.3	Configuración ..... 8
5.4	Densidad..... 10
5.5	Características de los constituyentes ..... 11
5.6	Resistencia a compresión ..... 13
5.7	Resistencia a ciclos de humectación/secado ..... 14
5.8	Resistencia a la erosión ..... 14
5.9	Absorción de agua por capilaridad..... 14
5.10	Resistencia a ciclos de hielo/deshielo ..... 14
5.11	Propiedades térmicas ..... 14
5.12	Permeabilidad al vapor de agua ..... 15
5.13	Reacción al fuego..... 15
5.14	Adherencia ..... 15
6	DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC..... 15
6.1	Descripción y designación..... 15
6.2	Clasificación..... 15
7	MARCADO Y ENTREGA..... 16
7.1	Marcado ..... 16
7.2	Entrega..... 16
8	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD ..... 16
8.1	Aspecto ..... 16
8.2	Resistencia a compresión ..... 16
8.3	Ensayo de humectación/secado ..... 16
8.4	Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) ..... 17
8.5	Ensayo de absorción de agua por capilaridad ..... 18
	ANEXO A (Informativo) USO Y DURABILIDAD..... 19
	ANEXO B (Informativo) AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE BTC ..... 21
	ANEXO C (Informativo) ESTABILIZACIÓN..... 22
	ANEXO D (Informativo) EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES ..... 24
	BIBLIOGRAFÍA..... 26

## 0 INTRODUCCIÓN

Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité Técnico AEN/CTN 41 SC10 *Edificación con tierra cruda*, cuya Secretaría desempeña el Departamento de Construcción y Vías Rurales de la ETSI Agrónomos de Madrid.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores.

Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el mercado que permite identificarlas.

Se aplica a los bloques de tierra comprimida conforme a la definición 3.1.2, que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que se citan a continuación son indispensables para la aplicación de esta norma. Únicamente es aplicable la edición de aquellos documentos que aparecen con fecha de publicación. Por el contrario, se aplicará la última edición (incluyendo cualquier modificación que existiera) de aquellos documentos que se encuentran referenciados sin fecha.

UNE 80309:2006 *Cementos naturales. Definiciones, clasificación y especificaciones de los cementos naturales.*

UNE 80402:2008 *Cementos. Condiciones de suministro.*

UNE 103101:1995 *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

UNE 103102:1995 *Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.*

UNE 103103:1994 *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.*

UNE 103104:1993 *Determinación del límite plástico de un suelo.*

UNE 103204:1993 *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.*

UNE 103205:2006 *Determinación del contenido de sales solubles de un suelo.*

UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 197-1:2000/A1:2005 *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

UNE-EN 197-2:2000 *Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 413-1:2005 *Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad*

UNE-EN 413-2:2006 *Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-1:2002 *Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.*

UNE-EN 459-2:2002 *Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-3:2002 *Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 13279-1:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.*

UNE-EN 13279-2:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 772-1:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión.*

UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de superficie de huecos en piezas para fábrica de albañilería (por impresión sobre papel).*

UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 772-13:2001 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería. (excepto piedra natural).*

UNE-EN 772-16:2001 y UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 20: Determinación de la planicidad de las caras de piezas para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 998-2:2004 *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería*

UNE-EN 1052-3:2003 *Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante.*

UNE-EN 1745:2002 *Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto.*

UNE-EN ISO 12572 *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. (ISO 12572:2001).*

### 3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

#### 3.1 Términos y definiciones de los productos

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

##### 3.1.1 pieza para fábrica de albañilería:

Componente preformado para uso en obras de albañilería.

##### 3.1.2 Bloque de Tierra Comprimida (BTC):

Pieza para fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos (véase 5.5).

##### 3.1.3 BTC ordinario:

Bloque utilizado para construir las partes macizas de las fábricas de albañilería.

##### 3.1.4 BTC accesorio:

Bloque cuya forma o estructura interna son diferentes a las del bloque ordinario y que es utilizado para la ejecución de encuentros particulares de albañilería como armados verticales, dinteles, etc.

##### 3.1.5 bloque cara vista:

Bloque cuya cara, realizada para ser vista, se utiliza para construir los muros o los tabiques.

##### 3.1.6 BTC macizo:

Bloque que presenta como máximo un 15% de huecos.

##### 3.1.7 BTC aligerado:

Bloque cuya densidad aparente seca es menor o igual a 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

##### 3.1.8 BTC para armar:

Bloque con huecos o rebajes superficiales preparado para ser armado con elementos metálicos u orgánicos. En cada caso, se debe justificar que el hueco permite un recubrimiento adecuado.

##### 3.1.9 BTC para colocación en seco:

Bloque con entrantes y salientes suficientes para que la transmisión de esfuerzos se realice en seco, total o parcialmente.

##### 3.1.10 cara de colocación:

Cara superior del bloque en posición de obra, que recibe la capa de mortero que constituye la junta horizontal superior.

##### 3.1.11 cara de apoyo:

Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.

##### 3.1.12 junta continua:

Junta de mortero que se extiende de forma continua de un paramento a otro.

##### 3.1.13 junta discontinua:

Junta de mortero que presenta uno o varios espacios vacíos, paralelos a los paramentos, dominando sobre toda la longitud del bloque (junta horizontal) o sobre toda su altura (junta vertical).

##### 3.1.14 dimensión modular:

Dimensión del espacio de modulación asignado a una pieza para fábrica de BTC en el muro terminado, que se obtiene sumando a las dimensiones de fabricación del bloque el espesor de las juntas y, eventualmente, cuando el bloque lleva revestimiento, el de los acabados. Estas dimensiones de coordinación son determinantes para el ensamblaje de los bloques entre sí o con los elementos próximos.

##### 3.1.15 dimensión nominal:

Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.

##### 3.1.16 dimensión efectiva:

Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.

##### 3.1.17 sección bruta (S<sub>b</sub>):

Área obtenida al multiplicar las dos dimensiones efectivas, anchura y longitud, medidas en la misma sección horizontal. Salvo indicación en contra, la sección bruta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

##### 3.1.18 sección neta (S<sub>n</sub>):

Área de una sección horizontal de la tierra comprimida, excluidos los vacíos. Salvo indicación contraria, la sección neta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

##### 3.1.19 sección de apoyo (S<sub>a</sub>):

Superficie común de las partes de la cara de colocación y de la cara de apoyo superpuestas a las juntas de mortero y susceptibles de transmitir las cargas.

##### 3.1.20 fisura:

Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.

**3.1.21 microfisura:**

Grieta fina cuya anchura no supera 1 mm y que afecta a no todo el espesor de una pared o del producto.

**3.1.22 valor declarado:**

Valor que el fabricante tiene previsto alcanzar, teniendo en cuenta la precisión de los ensayos y la variabilidad del proceso de fabricación.

**3.1.23 hueco:**

Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fábrica de albañilería (por ejemplo, hueco para el mortero, acanaladura para enlucido, estriado para asegurar la discontinuidad de la junta de mortero).

**3.1.24 alvéolo:**

Hueco que puede atravesar o no una pieza para fábrica de albañilería.

**3.1.25 terminología del aspecto del paramento:**

El aspecto de la(s) cara(s) vista(s), se obtiene directamente en molde (bloques brutos de desmolde) y se define según los siguientes ejemplos (lista no limitativa):

- Bloque de cara(s) plana(s): su(s) cara(s) vista(s) es (son) plana(s).
- Bloque con relieve: bloque en el que al menos una de sus caras vistas presenta un relieve, regular o no, obtenido por el efecto de la compresión.

**3.2 Símbolos**

- l* longitud, en mm;  
*w* anchura, en mm;  
*h* altura, en mm;  
*f<sub>c</sub>* resistencia normalizada a compresión, en N/mm<sup>2</sup>.

**4 MATERIALES Y FABRICACIÓN**

Las especificaciones de los materiales que se utilizarán en la fabricación de los BTC deben incluirse en la documentación del control de producción. El fabricante tiene que probar que son los adecuados.

**5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA****5.1 Generalidades**

Las especificaciones y características requeridas en esta norma deben ser definidas de acuerdo a los métodos de ensayo y demás procedimientos referenciados o que aparecen explícitamente en ella.

Los criterios de conformidad dados en los apartados siguientes se refieren a los ensayos definidos en el capítulo 8 o en las normas de ensayo que se especifican.

Conviene destacar que los métodos de ensayo no son siempre aplicables a los bloques accesorios.

Para la evaluación de la producción, el fabricante debe definir el criterio de conformidad en la documentación del control de producción en fábrica.

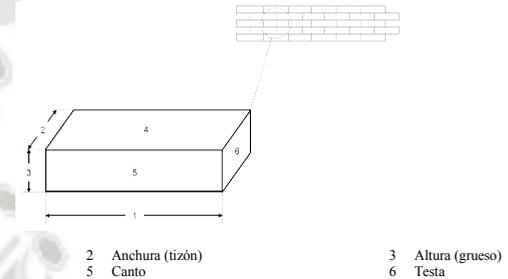
**5.2 Dimensiones y tolerancias**

La determinación de las dimensiones de los BTC se debe hacer de acuerdo con el procedimiento descrito en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

**5.2.1 Dimensiones**

El fabricante debe declarar las dimensiones nominales del bloque en milímetros, especificando la longitud (soga), la anchura (tizón) y la altura (grueso), por este orden (véase la figura 1).

NOTA Además, se podrán especificar las dimensiones modulares.



NOTA Esta nomenclatura es la empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro.

**Figura 1 – Dimensiones y superficies**

**5.2.2 Tolerancias**

La variación por exceso de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 5 mm. La variación por defecto de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 2 mm.

El fabricante podrá declarar tolerancias menores para una o más dimensiones.

Estas tolerancias no deben aplicarse a las dimensiones comprendidas entre las superficies del bloque que no sean planas. Las tolerancias admisibles en las dimensiones de fabricación de los bloques accesorios deben ser las indicadas en el párrafo anterior o las declaradas por el fabricante.

El procedimiento de medida debe estar de acuerdo con lo especificado en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1: 2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

**5.3 Configuración****5.3.1 Generalidades**

La forma y sus características deben ser definidas por el fabricante.

**5.3.2 Cara de apoyo**

La cara de apoyo debe ser, al menos, un tercio de la sección bruta.

**5.3.3 Juntas****5.3.3.1 Junta vertical o llaga**

Las caras laterales de los extremos son generalmente planas. Los bloques destinados a ser colocados con una junta de mortero deben permitir la ejecución de una junta vertical continua de 15 mm acotada entre dos extremos planos para los bloques pudiéndose considerar un espesor de 10 mm cuando la coordinación modular lo permita.

### 5.3.3.2 Junta horizontal o tendel

Las caras horizontales deben permitir la ejecución de juntas horizontales continuas.

### 5.3.4 Bloques accesorios

Los bloques accesorios, cuya utilización es particularmente recomendada para ciertas disposiciones constructivas, tales como armaduras horizontales y verticales así como para dinteles, deben ser de la misma naturaleza que los bloques a los cuales están asociados, con el fin de asegurar la homogeneidad de la albañilería en los distintos puntos. Estos bloques serán objeto de un cuidado particular durante el proceso de fabricación para evitar que sufran daños durante su manipulación.

### 5.3.5 Aspecto

#### 5.3.5.1 Planeidad de superficies

Las caras del bloque deben ser planas. La determinación de la planeidad se hará de acuerdo con las Normas UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006. Cuando la superficie de un bloque es declarada plana por el fabricante, no se debe desviar de un plano en más del mayor de los siguientes valores:

$$2 \text{ mm o el resultado de la siguiente expresión: } (0,1\sqrt{l_d}) \text{ (mm)}$$

donde

$l_d$  longitud de la diagonal de la superficie del bloque declarada plana, basada en las dimensiones reales del bloque, en mm.

#### 5.3.5.2 Defectos

Las caras vistas de los bloques no deben presentar defectos aparentes como deformaciones. Las aristas en la cara vista deben ser nítidas y rectilíneas. Las caras vistas no deben presentar ninguna mancha o suciedad importante o duradera que cubra más de  $\frac{1}{4}$  de su superficie. Además, conviene determinar si estas manchas o suciedades son o no compatibles con el tipo de obra que se pretende ejecutar.

No se tendrán en cuenta ni los mantos blanquecinos ligeros ni los pequeños ribetes.

#### Desconchados

No se toleran los desconchados en las esquinas, excepto cuando pueden inscribirse en un triédro trirrectángulo cerrado por un triángulo equilátero de lado  $\leq T$  (mm) (véase la figura 2).

Los desconchados en las aristas y las oquedades sólo son tolerables cuando su longitud sea inferior a  $T_1$  (mm), medida sobre las aristas y la profundidad sea inferior a  $T_2$  (mm), medida a partir de las aristas.

Los valores de  $T$ ,  $T_1$  y  $T_2$  se dan en la tabla 1 y se ilustran en las figuras 2 y 3.

Tabla 1 – Tolerancias dimensionales de los desconchados en las esquinas y en las aristas

Bloques	$T$ (mm)	$T_1$ (mm)	$T_2$ (mm)
BTC cara vista	10	20	5
BTC ordinarios	20	30	10

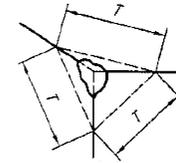


Figura 2 – Desconchado en una esquina

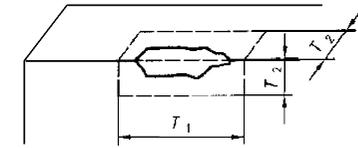


Figura 3 – Desconchado en una arista

#### Microfisuras

Las microfisuras sólo se tolerarán en bloques cara vista, cuando:

- su anchura no supere 0,5 mm;
- su longitud no supere 20 mm;
- su profundidad no supere 5 mm;
- su número no pase de 2 para una misma cara.

Las microfisuras sólo se tolerarán en los bloques ordinarios, cuando:

- su anchura no supere 1 mm;
- su longitud no supere 40 mm;
- su profundidad no supere 10 mm;
- su número no pase de 3 para una misma cara.

#### 5.3.5.3 Alvéolos

El porcentaje de alvéolos, si los hay, debe ser declarado. El volumen en porcentaje de los alvéolos del bloque debe determinarse según las Normas UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 y por cálculo. Los resultados deben corresponder con los valores declarados.

### 5.4 Densidad

#### 5.4.1 Densidad aparente seca de los bloques

El fabricante debe declarar la densidad aparente en seco del BTC. La determinación de la misma se hará de acuerdo con la Norma UNE-EN 772-13:2001.

#### 5.4.2 Densidad absoluta seca de los bloques.

El fabricante debe declarar la densidad absoluta seca del BTC cuando corresponda según los usos para los cuales se comercializa y para todos los casos en los que los bloques son utilizados en elementos sujetos a exigencias acústicas. La determinación de la misma se hará de acuerdo a la Norma UNE-EN 772-13:2001.

NOTA Se recomienda que el fabricante especifique la masa seca del BTC.

## 5.5 Características de los constituyentes

### 5.5.1 Estabilizantes y aditivos

El fabricante debe declarar el/los aditivos o estabilizante/s usado/s. En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de éstos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.

Esta norma contempla otros tipos de estabilización. Algunos de ellos se recogen en el anexo C (informativo).

NOTA En el caso de utilizarse varios conglomerantes, se entiende que la suma de los porcentajes de todos ellos debe ser inferior al 15% de la masa en seco del BTC.

El cemento empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente<sup>1)</sup>:

- Norma UNE 80402:2008.
- Norma UNE-EN 197-1:2000.
- Norma UNE-EN 197-1:2000/A1:2005.
- Norma UNE-EN 197-2:2000.
- Norma UNE-EN 197-2:2000/A1:2005.
- Norma UNE 80309:1994.
- Norma UNE-EN 413-1:2005.
- Norma UNE-EN 413-2:2006.

La cal empleada como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente<sup>2)</sup>:

- Norma UNE-EN 459-1:2002.
- Norma UNE-EN 459-2:2002.
- Norma UNE-EN 459-3:2002.

El yeso empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes:

- Norma UNE-EN 13279-1:2006.
- Norma UNE-EN 13279-2:2006.

### 5.5.2 Tierra

La tierra destinada a la construcción de los BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua y, opcionalmente, con estabilizantes y aditivos.

Deben rechazarse las tierras que contengan:

- Materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. La determinación del contenido en materia orgánica de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se hará de acuerdo con la Norma UNE 103204:1993.
- Sales solubles en contenido mayor del 2%. El contenido en sales solubles de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se determinará de acuerdo con la Norma UNE 103205:2006.

1) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08).

2) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cales (RCA-92).

Las principales características de la tierra se definen por:

- La granulometría.
- La plasticidad.
- El tipo de arcilla.

#### 5.5.2.1 Granulometría

La determinación de la distribución de tamaños de partícula de la tierra utilizada para fabricar los BTC se realizará según las Normas UNE 103101:1995 y UNE 103102:1995.

Se recomienda que la granulometría del material utilizado esté inscrita en el huso del diagrama de textura de la figura 4. Los límites del huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura está inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de los casos.

No se admitirán aquellas tierras con un contenido en arcillas menor al 10%.

#### 5.5.2.2 Plasticidad

La determinación de la plasticidad de los suelos que se utilicen para la fabricación de los BTC se realizará según lo establecido en las Normas UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993.

Se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en la zona sombreada del diagrama de plasticidad de la figura 5. Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya plasticidad queda inscrita en la zona sombreada recomendada, en la mayoría de los casos, dan resultados satisfactorios.

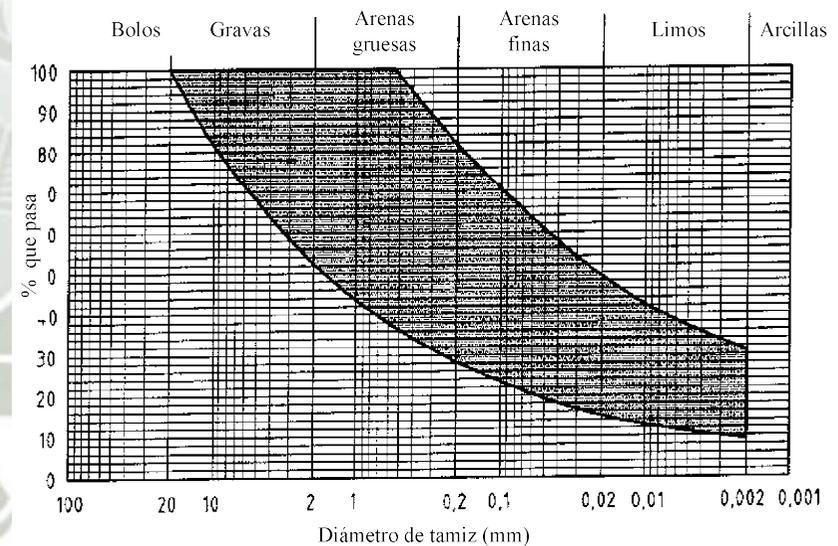


Figura 4 – Huso del diagrama de texturas de las tierras

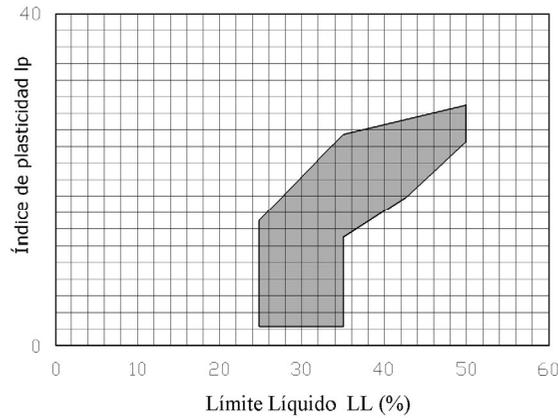


Figura 5 – Zona recomendada del diagrama de plasticidad de las tierras

### 5.5.3 Agua

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. En caso de no existir antecedentes de su uso y siempre que existan dudas, se recomienda analizarla según lo especificado en el anexo B (informativo).

### 5.6 Resistencia a compresión

El fabricante debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en  $N/mm^2$ , (véase la definición de valor declarado en el apartado 3.1.18). El valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%),  $f_c$ , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla 2.

NOTA Esto significa que la interpretación estadística de los resultados de los ensayos debe demostrar que el 95% de la producción correspondiente presenta una resistencia al menos igual al valor correspondiente de la tabla.

Además, ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.

Tabla 2 – Clases de resistencia normalizada a compresión

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, $f_c$ , (fractil 5%), en $N/mm^2$	1,3	3	5

NOTA Respecto a los bloques accesorios, véase el apartado 5.3.4.

Para la determinación de la resistencia normalizada a compresión, se debe seguir el procedimiento descrito en el apartado 8.2 de esta norma.

La declaración del fabricante debe indicar la orientación de los BTC que han sido ensayados, el método de apoyo del bloque, así como el método de acondicionamiento y de preparación de la superficie.

### 5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar de acuerdo al apartado 8.3 de esta norma, previamente al ensayo de erosión, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Pérdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

### 5.8 Resistencia a la erosión

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar conforme al apartado 8.4 de esta norma. El BTC así ensayado se clasificará en “apto” o “no apto”, según el criterio expresado en la tabla 3.

Tabla 3 – Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Propiedad	Criterio	Resultados
$D$ , (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

### 5.9 Absorción de agua por capilaridad

El fabricante debe declarar el valor del coeficiente  $C_s$  de absorción de agua por capilaridad de una muestra de piezas si éstas están destinadas a elementos exteriores con la cara vista. Esta información debe referirse a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, según se especifica en el apartado 8.5 de esta norma.

### 5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, el fabricante debe evaluar y declarar la resistencia al hielo/deshielo del bloque, haciendo referencia a la experiencia previa de utilización en la zona de uso hasta que esté disponible una norma europea adecuada.

NOTA Cuando el producto se utilice protegido frente a la penetración de agua (por ejemplo, mediante capa de enlucido, revestimiento, pared interior de una cavidad del muro, muros internos), no es necesario hacer referencia a la resistencia al hielo/deshielo.

### 5.11 Propiedades térmicas

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, y en todos los casos para bloques que vayan a usarse en construcciones sujetas a exigencias de aislamiento térmico, el fabricante debe facilitar la información sobre las propiedades térmicas del producto. Dichas propiedades térmicas deben determinarse según el apartado 4.2.2 de la Norma UNE-EN 1745:2002.

### 5.12 Permeabilidad al vapor de agua

Para los BTC destinados a paramentos exteriores, el fabricante tiene que facilitar la información relativa a la permeabilidad de las piezas, acorde con la Norma UNE-EN ISO 12572.

### 5.13 Reacción al fuego

Para los BTC diseñados para ser utilizados en elementos con requisitos de resistencia al fuego, el fabricante debe declarar la clasificación de reacción al fuego de los bloques.

### 5.14 Adherencia

Si los bloques están diseñados para ser sometidos a requisitos estructurales, la resistencia de la adherencia a cortante de la pieza en combinación con un tipo específico de mortero conforme a la Norma UNE EN 998-2:2004 debe declararse en términos de la resistencia característica inicial a cortante en base a ensayos conforme a la Norma UNE-EN 1052-3:2003. La resistencia característica inicial a cortante no debe ser inferior al valor declarado.

NOTA La resistencia de adherencia depende del mortero, del bloque y del trabajo del operario.

## 6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC

### 6.1 Descripción y designación

La designación de los bloques de tierra comprimida comprende, por orden, las indicaciones siguientes:

- "BTC" (para bloques de tierra comprimida),
- categoría de uso: O (comunes) o P (cara vista),
- clase de resistencia a compresión,
- dimensiones de fabricación expresadas por orden: longitud-anchura-altura (en mm),
- referencia a esta norma.

Ejemplos de denominación:

- BTC O 3, 295 × 140 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 220 × 220 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 300 × 145 × 105, UNE-41410.

### 6.2 Clasificación

Se distinguen dos categorías de bloques de tierra comprimida:

- a) categoría O: bloques comunes destinados a ser recubiertos por una protección cualquiera;
- b) categoría P: bloques cara vista.

En cada categoría, los bloques se clasifican en función de su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión.

Según su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión con respecto a la sección bruta y expresada en N/mm<sup>2</sup>, los bloques se clasifican de acuerdo con una de las clases de resistencia definidas en el apartado 5.6.

- BTC 1.
- BTC 3.
- BTC 5.

## 7 MARCADO Y ENTREGA

### 7.1 Marcado

Los documentos que acompañan el suministro (nota de entrega) deben llevar indicada la identificación propia y adecuada de cada fabricante.

La variación de la masa volumétrica de un lote determinado no deberá exceder de 100 kg/m<sup>3</sup>.

### 7.2 Entrega

El plazo de entrega para fechar el final de fabricación debe ser tal que, teniendo en cuenta las condiciones de fabricación, las especificaciones de la norma sean respetadas.

Para los bloques con un estabilizante que requiera un tiempo de fraguado, el periodo de fabricación debe comprender obligatoriamente un periodo de cura suficiente y adecuado al tipo de estabilizante utilizado.

## 8 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

El fabricante que, para la venta de sus productos, se base en esta norma, o en un texto que haga referencia a alguno de sus apartados, debe garantizar que todas las prescripciones enumeradas han sido respetadas y en particular, que se han efectuado las verificaciones correspondientes.

### 8.1 Aspecto

Se deberá controlar el aspecto de los bloques de la muestra y anotar los defectos eventuales. El material utilizado para controlar el aspecto del paramento debe permitir una apreciación con aproximación de 1 mm.

Se debe verificar que el estado de la superficie del paramento es conforme con la terminología de aspecto del paramento acordado a la hora del pedido.

### 8.2 Resistencia a compresión

Para el cálculo de la resistencia a compresión del BTC, se seguirá el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 772-1:2002, con la salvedad de que sólo se admitirá el ensayo de piezas enteras secadas al aire, no siendo, por tanto, de aplicación los apartados 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 de dicha norma).

Para el cálculo de la resistencia normalizada a compresión, se aplicará a la resistencia característica obtenida tras el ensayo solamente el factor de forma correspondiente, sin aplicar el factor de conversión debido al acondicionamiento de la pieza.

### 8.3 Ensayo de humectación/secado

Este ensayo se debe realizar previamente al ensayo de erosión.

#### 8.3.1 Probetas

Se deben tomar dos bloques enteros, utilizándose uno de ellos como referencia.

#### 8.3.2 Equipo

El equipo necesario para realizar el ensayo estará formado por los siguientes elementos:

- Una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar el BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo.
- Tres piezas de apoyo de 3 mm de altura.

### 8.3.3 Procedimiento

Se coloca la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de la bandeja y sobre los apoyos. Se añade agua hasta que quede sumergida hasta 10 mm. Se mantiene sumergida 30 s. Se deja secar al aire, hasta igualar el color del bloque de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo enumeradas en el apartado 5.7. Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/secado/observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.

### 8.3.4 Resultados

Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán aptos si tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas en el apartado 5.7 de esta norma.

## 8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

### 8.4.1 Probetas

Se ensayarán al menos dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.

### 8.4.2 Equipo

En la figura 6 se muestra un esquema del equipo a utilizar.

### 8.4.3 Procedimiento

Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min a través de un tubo de cristal de  $\varnothing_{\text{interior}}=5$  mm, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a  $27^\circ$  respecto a la horizontal. Con una varilla de  $\varnothing = 3$  mm, se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.

### 8.4.4 Resultados

El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificarán como “apto” o “no apto”, según el criterio detallado en el apartado 5.8 de esta norma.

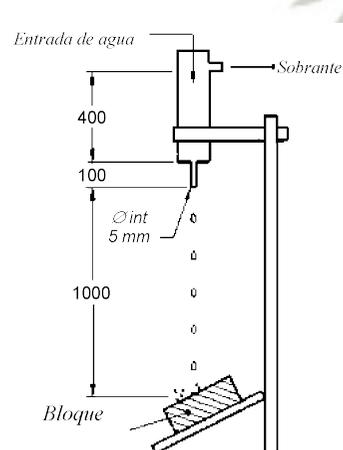


Figura 6 – Esquema del ensayo (informativo)

Medidas en milímetros

## 8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los BTC se realizará conforme a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta las observaciones siguientes:

### 8.5.1 Probetas

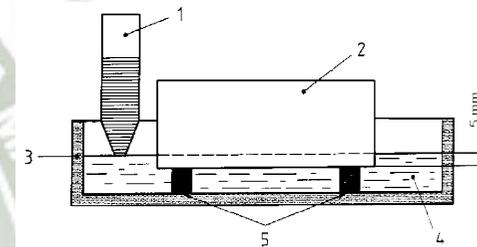
Las medidas se efectúan sobre seis bloques enteros.

### 8.5.2 Equipo

Se debe utilizar el mismo equipo que se especifica en las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta que la estufa que se utilice ha de ser capaz de mantener una temperatura de  $70 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 8.5.3 Procedimiento

Se debe seguir el mismo procedimiento que el indicado en la Norma UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, pero el secado será a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  y el tiempo de inmersión será de 10 min ( $\pm 0,2$  min).



Leyenda

- 1 Depósito (nivel constante)
- 2 Bloque
- 3 Cubeta

- 4 Agua potable
- 5 Soportes regulables

Figura 7 – Capilaridad. Esquema del ensayo (informativo)

### 8.5.4 Resultados

Se deben seguir las prescripciones de la Norma UNE-EN 772-11:2001 / y UNE-EN-772-11:2001A1:2006, con las apreciaciones siguientes:

- Para los bloques que presentan un dibujo regular sobre las dos caras, se tendrá en cuenta la superficie desarrollada.
- En los demás casos, no se tendrán en cuenta las irregularidades de la superficie en el cálculo del área.

## ANEXO A (Informativo)

## USO Y DURABILIDAD

## A.1 Uso del BTC

Las piezas de BTC pueden ser utilizadas en aplicaciones de distinta naturaleza, debiendo exigirse para cada una de ellas las prestaciones adecuadas. En caso de que la aplicación sea novedosa, será el responsable del diseño de la construcción quien especifique las prestaciones mínimas exigibles.

Las aplicaciones particulares son las siguientes:

- Fábrica común: aquella que se emplea en exteriores o interiores, sin un fin estético, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica protegida: aquella que se emplea en exteriores o interiores, protegida frente a la penetración de agua, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica para revestir: aquella que se emplea en exteriores o interiores, que se recubrirá de una capa protectora adecuada, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica vista: aquella que se emplea, con un fin estético, en exteriores o interiores, pudiendo ser portante o no. Constituida por piezas cuyo acabado sea atractivo, emplea sistemas de montaje y acabados con juntas de mortero adecuados a este tipo de piezas.
- Fábrica estructural: Aquella que se utiliza en exteriores o interiores, capaz de soportar cargas, además de su peso propio. Puede ser vista, común o revestida. Se considera que la fábrica de BTC, por sí sola, no posee capacidad resistente ante acciones sísmicas.

Los muros de fábrica tienen que garantizar prestaciones específicas ante los casos de incendio y ofrecer buen aislamiento acústico y térmico. Si fuera necesario se especificarán estas prestaciones en notas adicionales.

Los bloques de BTC tendrán que superar las condiciones de exposición locales para asegurar tanto la integridad estructural como la funcionalidad de la obra.

## A.2 Durabilidad

Ante la actual inexistencia de códigos europeos de buena práctica que sirvan de guía para la ejecución de las obras con garantías de asegurar la durabilidad en servicio de la fábrica terminada, se proponen a continuación una serie de recomendaciones para la resistencia a los ciclos de hielo/deshielo y el contenido en sulfatos en condiciones de servicio, incluyendo el grado de exposición y el riesgo de saturación.

## A.2.1 Resistencia al hielo/deshielo

Sería recomendable especificar el grado de resistencia al hielo/deshielo para el BTC, tras haber evaluado el grado de exposición al que se someterá la pieza, incluyendo la protección frente a la saturación de la fábrica.

El grado de exposición al hielo/deshielo sirve para definir el riesgo al que se ve sometida la fábrica ante la combinación de un contenido elevado de agua y la incidencia de ciclos de hielo/deshielo, teniendo en cuenta el diseño de la construcción. Los parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de definir dicho riesgo son la temperatura y la humedad. Así, se pueden definir tres clases de exposición: severa, moderada y baja.

Sería recomendable evaluar la influencia de los posibles revestimientos superficiales que se empleen para proteger la fábrica. Un revestimiento superficial puede originar un incremento de las exigencias de construcción en zonas de clima costero templado.

A título informativo, se proponen los siguientes ejemplos de grado de exposición:

- Fábrica sometida a exposición severa: fábrica sin revestir, próxima al nivel del terreno (aproximadamente dos hiladas por encima) y chimenea de fábrica, cuando pueda existir riesgo combinado de saturación de agua y helada; coronaciones, cornisas y antepechos en zonas donde exista riesgo de helada; muros de cierre y muros pantalla cuando la pared no esté provista de un revestimiento.
- Fábrica sometida a exposición moderada: se pueden tomar una serie de medidas preventivas que moderen el riesgo de saturación de la fábrica, tales como protección de las coronaciones de muro por medio de albardillas o aleros, protección de alféizares de ventana con vierteaguas, membranas impermeables en la coronación y en la base de fachadas ventiladas.
- Fábrica sometida a exposición baja: fábrica de muros exteriores protegida mediante un revestimiento adecuado a las condiciones climáticas locales, fábrica de muros interiores y las hojas interiores de muros capuchinos.

## A.2.2 Acción de los sulfatos en piezas de BTC, morteros y revestimientos

La acción negativa de los sulfatos en fábricas de BTC deriva del uso del cemento Portland como constituyente de las piezas (estabilizante) o como mortero de unión de las piezas o como constituyente del revestimiento de la fábrica.

Resulta recomendable declarar la categoría de contenido en sales solubles activas de las piezas, del mortero y del revestimiento (si existe), para asegurar que no aparezca deterioro de los mismos en las condiciones particulares de uso.

Las tres categorías dadas en la tabla A.1 especifican los contenidos máximos recomendables de sulfatos (de sodio, potasio y magnesio) de las piezas, para las condiciones particulares de uso. Dichos contenidos se determinarán según la Norma UNE-EN 772-5:2002.

Las condiciones de uso quedan definidas a través del riesgo de saturación de agua, que se puede deducir de las categorías de exposición al hielo/deshielo (véase A.2.1).

S2: piezas, mortero o revestimiento con cemento Portland ordinario, sometidos a una posible saturación prolongada.

S1: piezas o mortero sometidos a una exposición moderada, protegidos debido al diseño detallado de la construcción. Mortero o revestimientos con cemento Portland resistente a los sulfatos sometidos a una posible saturación prolongada.

S0: fábrica completamente protegida contra la penetración de agua.

Tabla A.1 – Categorías según el contenido en sales solubles activas

Categoría	Contenido total en masa (%), no mayor de:	
	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
S0	Sin exigencia	Sin exigencia
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

NOTA Cuando el uso del producto prevea una protección completa contra la penetración de agua (por ejemplo, capa gruesa de enlucido, pared interior de un muro capuchino, muros interiores) no hay requisitos en cuanto al contenido en sales solubles activas (categoría S0).

**ANEXO B (Informativo)****AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE LOS BTC**

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberían analizarse las aguas que se utilicen para amasar los morteros a base de cemento o aquellas que se utilicen para fabricar los BTC en los que el cemento está entre sus constituyentes a modo de estabilizante. El análisis de las aguas se realizará según las normas siguientes:

Norma UNE 7132:1958

Norma UNE 7178:1960

Norma UNE 7235:1971

Norma UNE 83951:2008

Norma UNE 83952:2008

Norma UNE 83956:2008

Los requisitos recomendables para las aguas analizadas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al mortero o al BTC, son los siguientes:

- pH  $\geq 5$ , determinado según la Norma UNE 83952:2008.
- Sulfatos, ( $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\leq 1$  g/l (1 000 p.p.m), determinados según la Norma UNE 83953:2008.
- Ión cloruro, (Cl)  $\leq 3$  g/l (3 000 p.p.m), determinado según la Norma UNE 7178:1960 (sólo para fábrica de BTC armada con acero).
- Hidratos de carbono = 0, determinados según la Norma UNE 7132:1958.
- Sustancias orgánicas solubles en éter  $\leq 15$  g/l (15 000 p.p.m), determinadas según la Norma UNE 7235:1971.

**ANEXO C (Informativo)****ESTABILIZACIÓN**

Esta norma contempla varios métodos de estabilización del BTC. A continuación se recogen algunas recomendaciones.

**C.1 Criterios de elección de estabilizantes**

Para decidirse por un método correcto de estabilización, se recomienda reunir suficiente información sobre los estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios:

- Disponibilidad regional: se preferirán los productos cercanos.
- Minimización del impacto ambiental, realizándolo a partir del análisis del ciclo de vida del estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.
- Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
- Evaluación económica.

**C.2 Estabilidad de la tierra**

Se entiende por una tierra estable aquella que presenta buena resistencia a la deformación y es poco sensible a la presencia de agua.

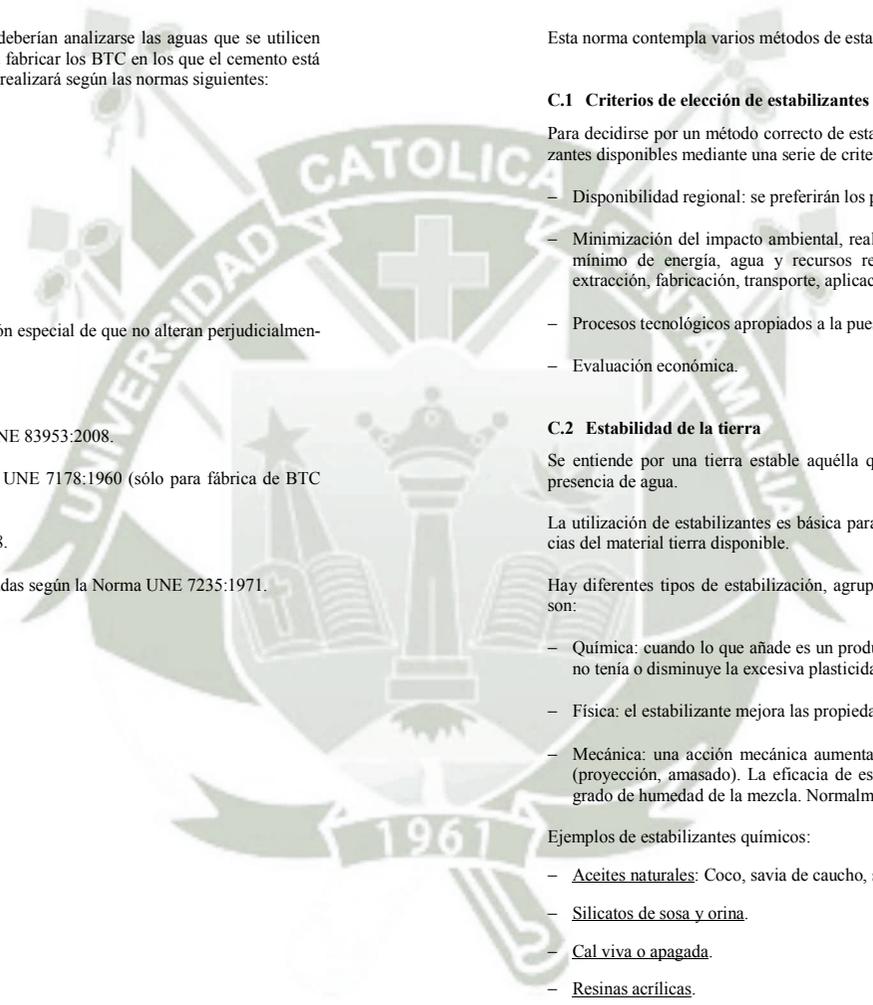
La utilización de estabilizantes es básica para la obtención de un material de calidad que resuelvan las posibles carencias del material tierra disponible.

Hay diferentes tipos de estabilización, agrupados según la acción que ejerzan sobre el material tierra. Estas acciones son:

- Química: cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad.
- Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra.
- Mecánica: una acción mecánica aumenta la compacidad del material. Ésta puede ser: estática, dinámica o mixta (proyección, amasado). La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

Ejemplos de estabilizantes químicos:

- Aceites naturales: Coco, savia de caucho, savias naturales, látex, prensado de oliva, etc.
- Silicatos de sosa y orina.
- Cal viva o apagada.
- Resinas acrílicas.
- Etilsilicatos, el hidróxido de Bario, ácido húmico y ácido tánico.
- Yema de huevo.



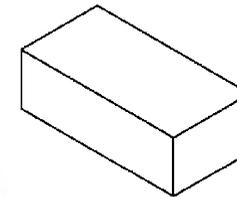
- Productos puzolánicos.
- Cementos.
- Yesos.
- Resinas.

Ejemplos de estabilizantes físicos:

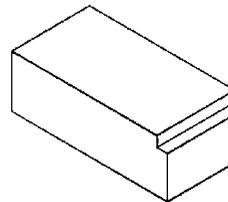
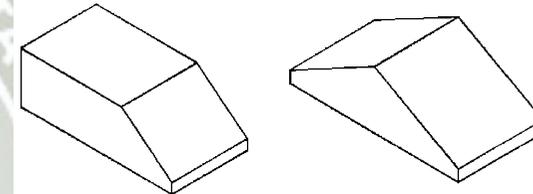
- Estabilización granulométrica: se realiza con la mezcla de suelos naturales, utilizándose normalmente una combinación binaria de suelos.
- Estabilización con fibras: crea un armazón interno, lo que aporta una mejora en el reparto de las tensiones en la matriz terrosa, pudiendo incrementar la resistencia a flexión y a cortante, y ayudando a evitar la retracción.

#### ANEXO D (Informativo)

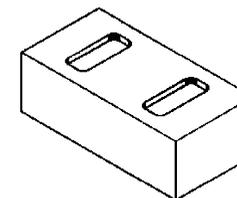
#### EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES



a) Bloque macizo

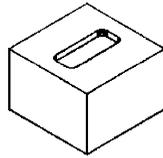


b) Piezas especiales macizas

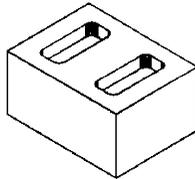


c) Bloque macizo con rebaje entero

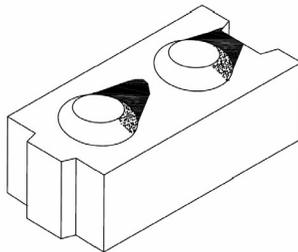




d) Bloque macizo con rebaje medio



e) Bloque macizo con rebaje tres cuartos



f) Bloque Mattone

**Figura D.1 – Ejemplos de diferentes formas de bloques****BIBLIOGRAFÍA**

RCA-92. *Instrucción para la Recepción de Cales en obras de estabilización de suelos, (Orden de 18 de diciembre de 1992).*

RC-08. *Instrucción para la recepción de cementos, (R.D. 956/2008, de 6 de junio).*

Código Técnico de la Edificación (RD 1351/2007 de 19 de octubre).

UNE 7132:1958 *Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.*

UNE 7178:1960 *Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.*

UNE 7235:1971 *Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.*

UNE 83951:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras.*

UNE 83952:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del pH. Método potenciométrico.*

UNE 83956:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato.*

UNE 103100:1995 *Preparación de muestras para ensayos de suelos.*

UNE-EN 771-1:2003 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.*

UNE-EN 771-3:2004 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros).*

UNE-EN 772-5:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería.*

UNE-EN 13501-1:2007 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*



---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD



## DESCRIPCIÓN

El Cemento Portland Pozolánico Yura IP, ALTA DURABILIDAD, es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el Cemento Portland Pozolánico YURA IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

## LA DURABILIDAD

“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

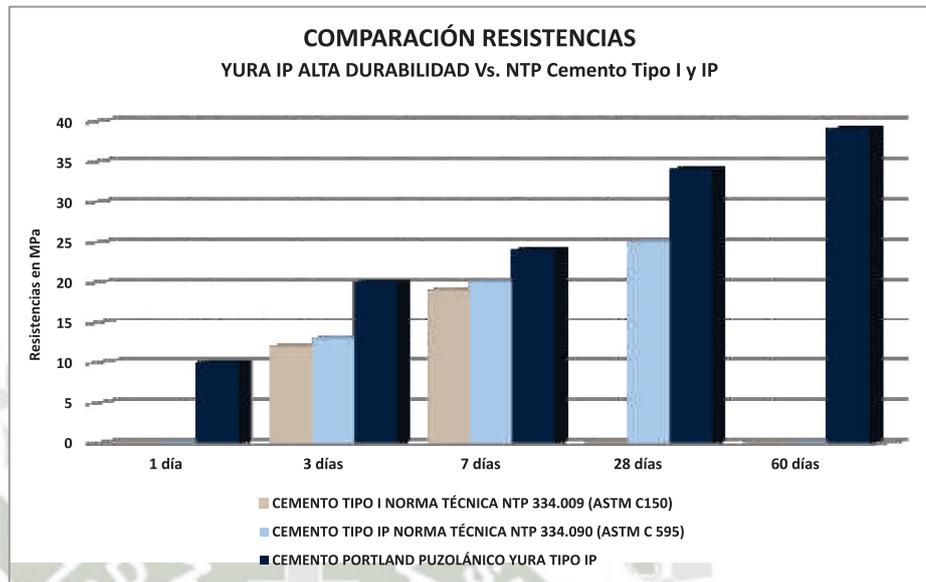
REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP	Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595
MgO (%)	1.99	6.00 Máx.
SO <sub>3</sub> (%)	1.75	4.00 Máx.
Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 Máx.

REQUISITOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP		Norma NTP 334.090 ASTM C-595		Comparativo con Norma Tipo I y Tipo V Requisitos Norma Técnica NTP 334.009 / ASTM C 150	
	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Cemento Tipo I Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.85		-		-	-
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.		-	-
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170		45 Mín.		-	-
Fraguado Vicat final (minutos)	270		420 Máx.		-	-
Resistencia a la compresión						
1 días	104	10	-	-	-	-
3 días	199	20	133 Mín.	13	122	12
7 días	247	24	204 Mín.	20	194	19
28 días	342	34	255 Mín.	25	-	-
60 días	397	39	-	-	-	-
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP				Cemento Tipo V	
% Expansión a los 14 días	0.018			-	0.04 Máx.	

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

## COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA DE NORMAS TÉCNICAS



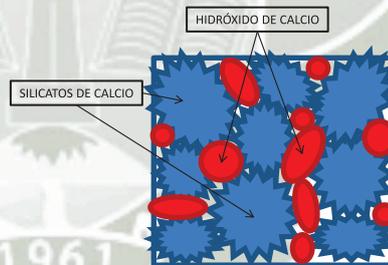
## PROPIEDADES

### 1 MAYOR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolana, hacen que el cemento Yura IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

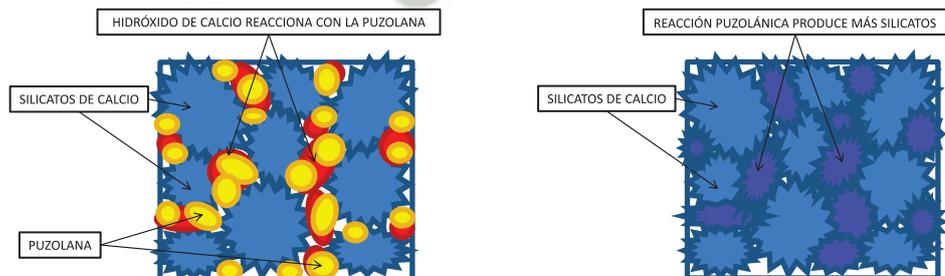
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

#### CON CEMENTO TIPO I



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

#### CON CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP



La puzolana que contiene el cemento YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

## PROPIEDADES

### 2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS:

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio dihidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el cemento Yura Tipo IP es más resistente a los sulfatos y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el cemento Portland Tipo IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.

Resistencia a los sulfatos	Resultado Cemento YURA IP	Resultado Cemento YURA Tipo V	Requisitos de Norma NTP 334.009 Tipo V
Máximo % de Expansión a los 14 días	0.018	0.029	0.040 Máx.

\* La expansión del cemento YURA IP - ALTA DURABILIDAD, es menor que la del cemento Tipo V y mucho menor al exigido en la norma.

### 3 MAYOR IMPERMEABILIDAD:

El cemento portland puzolánico YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace menos permeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

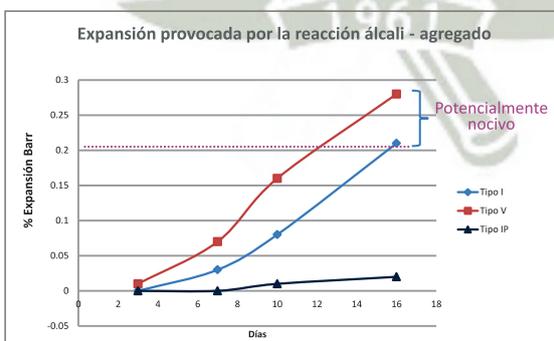
### 4 DISMINUYE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO:

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali – agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos. El cemento Yura tipo IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

#### ENSAYO DE COMPROBACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP QUE INHIBE LA REACCIÓN ÁLCALI – AGREGADO.

Comparación de potencial de reactividad alcalina de los cementos tipos I, V y IP según método de la norma ASTM C1260-07



El cemento Yura IP neutraliza esta reacción protegiendo al concreto contra este tipo de ataque.

Días	% Expansión Barr		
	Cemento tipo I	Cemento tipo V	Cemento tipo IP
3 días	0	0.01	0
7 días	0.03	0.07	0
10 días	0.08	0.16	0.01
16 días	0.21*	0.28*	0.02**

\*Los cementos tipo I y V presentan un porcentaje de expansión de 0.20 a los 16 días lo cual se les considera potencialmente dañino.

\*\* Bajo riesgo de expansión en condiciones de campo.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

## PROPIEDADES

### 5 MENOR CALOR DE HIDRATACION:

La reacción entre el Hidróxido de Calcio, liberado en la hidratación el cemento, con el aluminato tricálcico(C3A) presente en el cemento, genera gran calor de hidratación. La puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio, inhibe esta reacción, generando menor calor de hidratación, evitando contracciones y fisuraciones que afectan la calidad del concreto, principalmente en obra de gran volumen.

El cemento de Yura tipo IP cumple con el requisito, a los 7 y 28 días, de generar un moderado calor de hidratación. Por lo tanto, puede utilizarse al igual que el cemento Portland tipo II.

## BENEFICIOS AMBIENTALES

Menor consumo energético.  
Cemento fabricado con menor emisión de CO<sub>2</sub>.

## RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Guantes Impermeables



Protección Ocular



Botas Impermeables



Protección Respiratoria

## ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

## PRESENTACIONES DISPONIBLES

- **Bolsas 42.5 Kg** Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
- **Big Bag 1.0 TM** Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
- **Big Bag 1.5 TM** Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
- **Granel** Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

## NORMAS TÉCNICAS

EL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP - ALTA DURABILIDAD, cumple con las especificaciones técnicas de los siguientes países:

PAIS	NORMA		DENOMINACIÓN	
Perú	Norma Técnica Peruana	NTP 334.090	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO	TIPO IP
Chile	Norma Chilena Oficial	NCh 148 Of68	CEMENTO PUZOLÁNICO	GRADO CORRIENTE
USA	Norma Americana	ASTM C595	PORTLAND POZZOLAN CEMENT	TYPE IP
Bolivia	Norma Boliviana	NB-011	CEMENTO PORTLAND CON PUZOLANA	TIPO IP 30
Ecuador	Norma Técnica Ecuatoriana	NTE INEN 490	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO	TIPO IP
Brasil	Norma Brasileña	NBR 5736	CIMENTO PORTLAND POZOLÁNICO	TIPO CP IV 32
Colombia	Norma Técnica Colombiana	NTC 121 - 321	CEMENTO PORTLAND	TIPO 1

## DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014



AREQUIPA - PERU

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**CONSTANCIA**

El que suscribe, **Ing. Fernando Garnica Cuba**, Encargado del Laboratorio de Suelos y Concreto del Programa Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

**HACE CONSTAR**

Que los señores Bachilleres en Ingeniería Civil:

**MILAGROS IRASEMA HOLGADO CORNEJO**

Código N° 2010200572

**RODRIGO PRADO SALINAS**

Código N° 2010223261

Han realizado los ensayos de Laboratorio de Suelos y Concreto para complementar su trabajo de Tesis para optar el título de Ingeniero Civil cuyo título es: **“DISEÑO, ELABORACION Y CONTROL DE LADRILLOS SUELO-CEMENTO PARA ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION”**.

Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:

- 30 Contenido De Humedad (26 Diseños Y 04 Muestras De Suelo)
- 22 Granulometría Por Tamizado
- 05 Granulometría Por Sedimentación
- 17 Limite Líquido (15 Diseños Y 02 Muestra De Suelos)
- 17 Limite Plástico (15 Diseños Y 02 Muestra De Suelos)
- 27 Gravedad Específica (23 Diseños Y 04 Muestras De Suelo)
- 23 Proctor Estándar (23 Diseños)
- 53 Alabeo
- 126 Resistencia A La Compresión De Unidades
- 24 Succión (03 Diseños)
- 30 Densidad (03 Diseños)
- 15 Absorción (03 Diseños)
- 06 Humectación Y Secado (03 Diseños)
- 21 Ensayo De Compresión Cubos 10x10 (07 Diseños De Morteros)
- 13 Ensayo De Compresión Pilas

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos, Concreto y Materiales de Construcción, han sido realizados entre el 21/04/2015 y el 26/09/2015:

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

Arequipa, 09 de Octubre del 2015





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

## RESOLUCION DECANAL N° 433-2015-FIC

Arequipa, 2015 octubre 06.

El Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa;

### CONSIDERANDO:

El pedido de los Bachilleres, MILAGROS IRASEMA HOLGADO CORNEJO y RODRIGO PRADO SALINAS, egresados de la Universidad Católica Santa María, para realizar ensayos de compresión diagonal a 10 muretes, quienes están realizando su Tesis intitulada "Diseño, elaboración y control de LADRILLOS SUELO-CEMENTO para albañilería no estructural como alternativa para la Construcción".

Que, el fin únicamente es académico con el objetivo de culminar su Tesis.

Que, con el propósito de universalizar la Investigación de los estudiantes, teniendo el mismo derecho.

En uso de las atribuciones que la Ley y el Estatuto de la UNSA, le confieren a este Despacho.

### SE RESUELVE

Autorizar el uso del Laboratorio de Concreto, para realizar el ensayo de Compresión **diagonal de 10 muretes, los mismos que deberán pagar el 50% del total del monto.**

REGISTRESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVASE.

  
**DR. CALIXTRO YANQUI MURILLO**  
**DECANO DE LA FIC**



CYM/rsm

c.c. Interesados  
Archivo.

Laboratorio de Concreto de la FIC

---

Av. Independencia s/n - Arequipa Telefax 284765  
e.mail: fic-unsa@hotmail.com