

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA DEL USO DEL CEMENTO EN LA
ESTABILIZACIÓN GEOMÉTRICA DEL LADRILLO
DE TIERRA COMPRIMIDA EN ALBAÑILERÍA NO
ESTRUCTURAL EN LA CIUDAD DE JULIACA**

PRESENTADO POR

Bach. CRUZ ESCOBEDO ENRIQUE

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

JULIACA – PERÚ

2017

ACTA DE TITULACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 12:00 horas del día 19 de agosto del 2017, en el Salón de Grados de la Universidad Alas Peruanas y bajo la Presidencia del **Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**, se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de **Sustentación de Tesis**.

En la que el Bachiller: **CRUZ ESCOBEDO, ENRIQUE**

Sustentó la Tesis de Ingeniería:

Tesis

**“INFLUENCIA DEL USO DEL CEMENTO EN LA ESTABILIZACIÓN
GEOMÉTRICA DEL LADRILLO DE TIERRA COMPRIMIDA EN
ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL EN LA CIUDAD DE JULIACA”**

Ante el jurado integrado por los señores catedráticos:

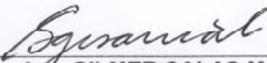
Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI	(Presidente)
Ing. ALFREDO PONCE FLORES	(Miembro)
Ing. GILMER SALAS MADERA	(Secretario)

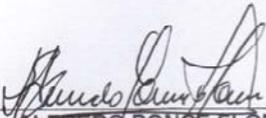
Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el señor Presidente y los demás miembros del Jurado.


Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI
Presidente
CIP: 189445


Ing. GILMER SALAS MADERA
Secretario
CIP: 86417


Ing. ALFREDO PONCE FLORES
Miembro
CIP: 73698

Formulario de Autorización de Registro y Publicación de Producción Académica en el Repositorio Institucional de la UAP

A LOS AUTORES Y CREADORES DE NUESTRA UNIVERSIDAD:

En la actualidad los Repositorios Institucionales representan una estrategia de información y comunicación de las instituciones académicas, el formar parte de un Repositorio Institucional, contribuye a fomentar el nivel de competitividad, visibilidad, imagen pública y relevancia de un investigador y la posibilidad de ser consultado y difundido mundialmente, a través de su obra, mediante un archivo de formato electrónico.

Al depositar su obra en el Repositorio Institucional UAP, el autor concede a la Universidad Alas Peruanas S.A., una Licencia no exclusiva sobre su creación y el logro del propósito enunciado.

Datos del Autor

Datos del Autor			
Nombre y Apellidos:	CRUZ ESCOBEDO ENRIQUE		
DNI:	42070661	Teléfono:	950314660
E-Mail:	enriquece24@gmail.com		

Datos de la Investigación

<input type="checkbox"/>	Trabajo académico		
<input type="checkbox"/>	Trabajo de Investigación		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis		
<input type="checkbox"/>	Artículo Académico		
<input type="checkbox"/>	Libros y/o Capítulos de Libro		
<input type="checkbox"/>	Otros, especificar en Anexo "A" adjunto. (Ver Cuadro)		
Título:	INFLUENCIA DEL USO DEL CEMENTO EN LA ESTABILIZACIÓN GEOMÉTRICA DEL LAPRILLO DE TIERRA COMPRIMIDA EN ARBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL EN LA CIUDAD JULIACA		
Asesor:	ING. JUAN VARGAS RAMOS		
Año:	2017	Carrera Profesional:	INGENIERÍA CIVIL
Licencias			

A. Licencia estándar:

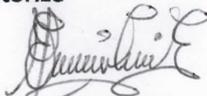
Bajo los siguientes términos, autorizo el registro y publicación en acceso abierto de mi Artículo / Trabajo de Investigación / Artículos Académicos/ Libros y/o capítulos de libro/ Tesis en el Repositorio institucional de la Universidad Alas Peruanas. Con esta autorización de depósito de mi Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis, entre otros, otorgo a la Universidad Alas Peruanas S.A., una licencia no exclusiva para reproducir (en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación), distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi Trabajo de Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de Tesis UAP, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

Declaro que el presente Artículo / Trabajo de Investigación / Artículos Académicos/ Libros y/o capítulos de libro /Tesis, es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Alas Peruanas consignará el nombre del/los autor/es de la tesis, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la presente licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X):

- SI, autorizo que se deposite inmediatamente de acceso abierto
- SI, autorizo que se deposite y publique de acceso abierto partir de la fecha:
- 01 Año
- 02 Años
- 03 Años
- NO, Autorizo



FIRMA

28-08-2017

FECHA

* Lo siguiente es OPCIONAL, pero es importante porque el licenciamiento Creative Commons fija las condiciones de uso de su tesis en la Web. Si desea obviar esta parte, vaya a la última hoja del formulario, coloque su firma y fecha para completar su autorización.

B. Licencia Creative Commons: Otorgamiento de una licencia Creative Commons

Si usted concede una licencia Creative Commons sobre su tesis, mantiene la titularidad de los derechos de autor de ésta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de ésta, siempre y cuando reconozcan la autoría correspondiente, bajo las condiciones siguientes:

MARQUE	TIPO LICENCIA	DESCRIPCIÓN
	 Reconocimiento CC BY	Esta licencia permite a otros distribuir, mezclar, ajustar y construir a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre que le sea reconocida la autoría de la creación original. Esta es la licencia más servicial de las ofrecidas. Recomendada para una máxima difusión y utilización de los materiales sujetos a la licencia.
	 Reconocimiento- Compartirlgual CC BY-SA	Esta licencia permite a otros re-mezclar, modificar y desarrollar sobre tu obra incluso para propósitos comerciales, siempre que te atribuyan el crédito y licencien sus nuevas obras bajo idénticos términos. Cualquier obra nueva basada en la tuya, lo será bajo la misma licencia, de modo que cualquier obra derivada permitirá también su uso comercial.
	 Reconocimiento- SinObraDerivada CC BY-ND	Esta licencia permite la redistribución, comercial y no comercial, siempre y cuando la obra no se modifique y se transmita en su totalidad, reconociendo su autoría.
	 Reconocimiento- NoComercial CC BY-NC	Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, y aunque en sus nuevas creaciones deban reconocerle su autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.
	 Reconocimiento- NoComercial- Compartirlgual CC BY-NC-SA	Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, siempre y cuando le reconozcan la autoría y sus nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.
	 Reconocimiento- NoComercial- SinObraDerivada CC BY-NC-ND	Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales, sólo permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente.

Firma

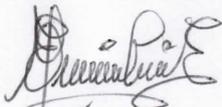
28-08-2017

Fecha

Datos del Autor			
Nombre y Apellidos:	ENRIQUE CRUZ ESCOBEDO		
DNI:	42070661	Teléfono:	950314660
E-Mail:	enriquece24@gmail.com		

Datos de la Investigación			
<input type="checkbox"/>	Trabajo Académico		
<input type="checkbox"/>	Trabajo de Investigación		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis		
<input type="checkbox"/>	Artículo Académico		
<input type="checkbox"/>	Libros y/o Capítulos de Libro		
<input type="checkbox"/>	Otros, especificar en Anexo "A" adjunto. (Ver Cuadro)		
Título:	INFLUENCIA DEL USO DEL CEMENTO EN LA ESTABILIZACIÓN GEOMÉTRICA DEL LABRILLO DE TIERRA COMPRIMIDA EN ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL EN LA CIUDAD DE JULIACA		
Asesor:	ING. JUAN VARGAS RAMOS		
Año:	2017	Carrera Profesional:	INGENIERIA CIVIL

Declaratoria			
<p>Declaro que he leído este Artículo / Trabajo de Investigación / Tesis en su totalidad referenciado en este documento, he hecho la revisión y corrección de estilo del presente trabajo de tesis considerando lo señalado en la Guía y Manual de Tesis de la Universidad Alas Peruanas y del Manual de Estilo de la APA, versión en inglés.</p> <p>Asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y soy consciente que este compromiso de fidelidad tiene connotaciones académicas y éticas.</p> <p>En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Alas Peruanas.</p>			



 FIRMA

28 - 08 - 2017

 FECHA

CUADRO: TIPOS DE DOCUMENTOS PARA INCLUIR (ANEXO A)
DRIVER 2.0 Actualizado 29 de Agosto 2016

info:eu-repo/semantics/article	Artículo científico	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/doctoralThesis	Tesis doctorado	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/mastherThesis	Tesis de Maestría	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/bachelorThesis	Tesis de Bachiller	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/report	Reporte	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/book	Libro	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/monograph	Monografía	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/bookPart	Capítulo o parte de un libro	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/review	Revisión	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/conferenceObject	Conferencia	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/lecture	Presentación	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/patent	Patente	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/workingPaper	Working paper	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/technicalDocumentation	Documentos Técnicos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/dataset	Datos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/software	Sistemas Informáticos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/Video	Videos	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/contributionToPeriodical	Contribución no académica	<input type="checkbox"/>
info:eu-repo/semantics/other	Otros	<input checked="" type="checkbox"/>

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Santos Julián Cruz Colque.

Juana Bautista, Escobedo Banegas.

Gracias por su gran amor y apoyo, quienes sabiamente me supieron guiar en la vida, siendo parte de mis planes, alegrías y tristezas.

A MIS HERMANOS

Guillermina, Luís, Santusa, Hipólito, Nelly y Yuliana, por el ímpetu de seguir luchando en el arduo camino de la vida y en especial a Nelly y Yuliana por su apoyo incondicional para alcanzar esta meta.

A MI TÍO Y MADRINA

Albino Escobedo.

A mi madrina Felicitas Rivera.

Por alentarme y guiarme en cada instante de mi vida y señalándome el camino del éxito para la culminación de esta carrera profesional.

A MIS AMIGOS

Américo Florián, Raúl, Russo, Wilber, Froilan, Pedro, Eliseo, Franklin, Luis, Yovana, Patricia... Con quienes he compartido mis ideas y sueños, y en especial a quienes me apoyaron incondicionalmente.

Enrique Cruz Escobedo

AGRADECIMIENTO A

DIOS

Quien puso la sabiduría en el corazón o quien dio al espíritu inteligencia, porque él da la sabiduría, y de su boca el conocimiento y la inteligencia.

DOCENTES

Al personal docente de la Universidad Alas Peruanas y de manera muy especial, a los docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura; Escuela Profesional de Ingeniería Civil; por su valiosa enseñanza, apoyo fructífero y la formación académica recibida, para de esa manera poder aplicar sus sabias enseñanzas y poner en práctica todo lo aprendido.

ASESOR Y JURADOS

Director Asesor Ing. Juan Vargas Ramos, por el asesoramiento y apoyo incondicional en la culminación del presente trabajo y a los miembros del Jurado calificador al Mg. Hugo Anselmo Ccama Condori, Ing. Alfredo Ponce Flores y al Ing. Gilmer Salas Madera.

Enrique Cruz Escobedo

RESUMEN

El suelo-cemento, llamado también suelo estabilizado, está definido como 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. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la influencia del uso del cemento en la estabilización geométrica del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca. Metodológicamente la presente investigación asumió el diseño experimental, transversal, la presente Investigación por sus características peculiares posee la validez interna y externa, consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una de medición de una o más variables para observar cuál es el comportamiento de la adición de cemento al bloque de tierra. De los resultados obtenidos se concluye que 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.

Palabras clave: cemento, estabilización, tierra comprimida, resistencia.

ABSTRACT

Soil-cement, also called stabilized soil, is defined as a mixture of cement, soil and water, which after being compacted becomes a material with great mechanical resistance and durability. This material has been used in stabilization of foundations, coatings of low permeability and mainly as floors subjected to different traffic and load requirements, as well as of base and / or sub-base of pavements, both flexible and rigid. This study was to evaluate the influence of cement use on the stabilization geometric of compressed earth brick in nonstructural masonry in the city of Juliaca. Methodologically, the present investigation assumed the experimental design, transversal, the present Investigation by its peculiar characteristics possesses the internal and external validity, is to administer a stimulus or treatment to a group and then to apply a measurement of one or more variables to observe what is The behavior of cement addition to the soil block. Of the results obtained it is concluded that the most suitable dosage for the manufacture of the floor - cement bricks, it is concluded that the best - performing proportion comprises Sand between 55% - 65%, Limo between 10 - 20% and Clay 25 %. It is essential that the amount of water added is as close as possible to the optimal moisture content, for the dosage presented the water content should be between 14% - 15%. It is evident that to consider a suitable mixture for the elaboration of the bricks, The limits of consistency should be in the order of 45% to 50% for Liquid Limit and 20% to 22% for Plastic Limit.

Keywords: Cement, stabilization, compressed earth, resistance.

INDICE

INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	14
PLANTEAMIENTO METODOLOGICO	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	15
1.2.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	15
1.2.3 DELIMITACIÓN SOCIAL/CONDUCTUAL.....	15
1.2.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	15
1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.3.1 PROBLEMA GENERAL.....	16
1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	16
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	18
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO.....	18
1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	18
1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE	18
1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	19
1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.7.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	19
1.7.2 DISEÑOS Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	20

1.7.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.7.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	22
1.8	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.8.1	JUSTIFICACIÓN.....	22
1.8.2	IMPORTANCIA.....	23
1.8.3	LIMITACIONES	23
CAPITULO II.....		24
MARCO TEÓRICO		24
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.1.1	INVESTIGACIONES PREVIAS	24
2.2	MARCO TEÓRICO.....	28
2.2.1	HISTORIA DE LA TIERRA	28
2.2.2	TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	30
2.2.3	TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA	32
2.2.4	SITUACIÓN DE LA NORMATIVA	36
2.2.5	COMPONENTES DE LADRILLO SUELO – CEMENTO	42
2.2.6	PRINCIPIOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE TIERRA	47
2.2.7	FABRICACIÓN DE LADRILLOS SUELOS – CEMENTO	52
2.2.8	CARACTERÍSTICAS DE MORTEROS.....	53
CAPITULO III.....		56
PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN		56
3.1	MATERIALES.....	56
3.1.1	TIERRA.....	56
3.1.2	COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS.....	62
3.1.3	METODO DE ENSAYOS REALIZADOS	78
CAPITULO IV		85

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	85
4.1 FASE I	85
4.1.1 ALABEO.....	86
4.1.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL	87
4.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	93
4.2 FASE II	94
4.2.1 ALABEO.....	94
4.2.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL	96
4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	100
4.3 FASE III	101
4.3.1 PRUEBAS ADICIONALES	102
4.3.2 ALABEO.....	104
4.3.3 VARIACIÓN DIMENSIONAL	106
4.3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA UNIDADES	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES.....	112
GLOSARIO	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS	121
MATRIZ DE CONSISTENCIA	122

LISTA DE TABLAS

- Tabla I.1. Factores de análisis del diseño de investigación
- Tabla II.1. Investigaciones previas y dosificación que recomiendan
- Tabla II.2. Normativa de Tierra en el ámbito mundial
- Tabla III.1. Curva granulométrica combinada de la tierra arcillosa
- Tabla III.2. Carta de Casagrande del suelo de Caracoto
- Tabla III.3. Curva granulométrica combinada de la tierra limosa
- Tabla III.5. Carta de Casagrande del suelo de Pochi
- Tabla III.6. Curva granulométrica de la arena de la cantera de Cabanillas
- Tabla III.7. Diseño A. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.8. Diseño B. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.9. Diseño C. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.10. Diseño D. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.11. Diseño E. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.12. Diseño F. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.13. Diseño G. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.14. Diseño H. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.15. Diseño I. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.16. Diseño J. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad
- Tabla III.17. Diseño K. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

Tabla III.18.Diseño L. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

Tabla III.19.Diseño M. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

Tabla III.20.Diseño N. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

Tabla III.21.Diseño O. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad

Tabla III.22.Curva granulométrica de todos los diseños definidos encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410

Tabla IV.1.Alabeo de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.2.Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.3.Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.4.Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.5.Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.6.Variación dimensional del largo de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.7.Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.8.Resistencia a la compresión de los 15 diseños de la I fase

Tabla IV.9.Alabeo de los 07 diseños de la II fase

Tabla IV.10.Variación dimensional de la altura de los 07 diseños de la II fase

Tabla IV.11.Variación dimensional del largo de los 07 diseños de la II fase

Tabla IV.12.Variación dimensional del ancho de los 07 diseños de la II fase

Tabla IV.13.Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase

Tabla IV.14.Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento

Tabla IV.15.Alabeo diseño G fase III

Tabla IV.16.Alabeo diseño I fase III

Tabla IV.17.Alabeo diseño J fase III

Tabla IV.18.Variación dimensional diseño G fase III

Tabla IV.19.Variación dimensional diseño I fase III

Tabla IV.20.Variación dimensional diseño J fase III

Tabla IV.21.Resistencia a la compresión de unidades del diseño G

Tabla IV.22.Resistencia a la compresión de unidades del diseño I

Tabla IV.23.Resistencia a la compresión de unidades del diseño J

LISTA DE FIGURAS

Figura. I.1.Operacionalizacion de variables

Figura II.1.Moldeado y preparación de adobe

Figura II.2.Estabilización Física, mejoramiento de suelo a través de la combinación para cambiar sus propiedades

Figura II.3.Prensado de tierra

Figura II.4.Curado y secado de los ladrillos suelo-cemento

Figura III.1.Tierra arcillosa de la cantera

Figura III.2.Tierra limosa tamizada por la malla #4

Figura III.3.Determinando alabeo por convexidad de la cara del ladrillo

Figura IV.1.Medición de un espécimen con vernier

Figura IV.2.Medición del alabeo

Figura IV.3.Toma de medidas de un espécimen

Figura IV.4.Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase

Figura IV.5.Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento

Figura IV.6.Alabeo con convexidad del espécimen

Figura IV.7.Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño G

Figura IV.8.Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño I

Figura IV.9.Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño J

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.

Esta investigación estudia un material alternativo, el bloque 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 es caro, 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.

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.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

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.

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

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.

1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El ámbito de estudio del presente trabajo de investigación es:

- Región : Puno.
- Provincia : San Román.
- Distrito : Juliaca.

1.2.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo a partir de junio del 2017 hasta julio del 2017, tiempo que permitirá desarrollar y mostrar los resultados de la investigación.

1.2.3 DELIMITACIÓN SOCIAL/CONDUCTUAL

Esta investigación permitirá conocer aspectos relevantes en cuanto a la adición de cemento en los bloques de tierra, ya que en la actualidad este aspecto no es estudiado, por lo que es relevante realizar el estudio ya que contribuirá a mejorar los aspectos que se deben tomar en cuenta para mejorar la estabilidad de bloques de tierra.

1.2.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como cemento, estabilización geométrica de ladrillo de tierra, ambos conceptos direccionaran el presente trabajo de investigación.

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.

Estabilización Bloque de Tierra. 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”. 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.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influirá el uso del cemento en la estabilización geométrica del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca?

1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo será la influencia del uso del cemento en la resistencia a la compresión del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca?

- ¿Cómo será la influencia del uso del cemento en la variación dimensional del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca?
- ¿Cómo será la influencia del uso del cemento en el alabeo del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del uso del cemento en la estabilización geométrica del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la influencia del uso del cemento en la resistencia a la compresión del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.
- Evaluar la influencia del uso del cemento en la variación dimensional del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.
- Evaluar la influencia del uso del cemento en el alabeo del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

El uso del cemento influirá positivamente en la estabilización geométrica del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICO

- El uso del cemento influirá significativamente en la resistencia a la compresión del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.
- El uso del cemento permitirá una mínima variación dimensional del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.
- El uso del cemento permitirá un mínimo alabeo del ladrillo de tierra comprimida en albañilería no estructural en la ciudad de Juliaca.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

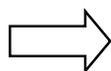
Variable independiente (X)



Cemento

1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Variable dependiente (Y)



Estabilización geométrica de ladrillo de tierra comprimida

1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Figura. I.1.
Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE (X) Cemento	Tratamientos	0 % de cemento 4 % de cemento 6% de cemento 8 % de cemento
VARIABLE DEPENDIENTE (Y) Estabilización geométrica de ladrillo de tierra comprimida	Resistencia a la compresión	– resistencia a compresión (Kg. /cm2)
	Variación dimensional	– exceso (%) – defecto (%)
	Alabeo	– concavidad – convexidad

Fuente: Elaboración propia.

1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

a) Tipo de investigación:

El presente estudio asume el enfoque cuantitativo, se obtendrá los datos a través de ensayos de laboratorio y por el propósito de estudio es de tipo básico o fundamental está orientado a evaluar la adición de cemento en bloques de tierra compactada, por la naturaleza de estudio es experimental.

b) Nivel de investigación:

De acuerdo a las características y profundidad del estudio corresponde al nivel de investigación explicativo porque permitirá conocer la adición de cemento en ladrillo de tierra, se pretende aplicar los resultados a situaciones reales donde se ejecuten obras con concretos adicionados.

1.7.2 DISEÑOS Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

a) Diseño de investigación:

Es una investigación que asume el diseño experimental, transversal, por sus características peculiares posee la validez interna y externa, consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cuál es el comportamiento de la adición de cemento al ladrillo de tierra. Dado que el objeto no se asignan al azar sino a los grupos, ni se emparejan, porque tal grupo ya existe como grupo intacto como comenta (Estévez Cullell, 2004) corresponde al diseño factorial, correspondiente a los diseños experimental puro como manifiesta Hernández y Baptista (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), debido a que se manipula dos variable Independiente; como factor 01, 02, (bloque; 1,2,) y factor 03 y 04 (bloque; 3,4) para conocer la eficacia los resultados que se desea en la variable dependiente (ponderación exámenes de respuesta abierta) en la población en estudio, para lo cual se utilizará el siguiente esquema:

Tabla I.1.
Factores de análisis del diseño de investigación

BLOQUES	Factor 01	Factor 02	Factor 03	Factor 04
B1	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01
B2	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01
B3	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque01
B4	Bloque 01	Bloque 01	Bloque 01	Bloque01

Fuente Elaboración propia.

b) Método de investigación:

En la investigación se utilizara todo los pasos del método científico y como método general se utilizará el método deductivo.

1.7.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

a) Población:

La población estará constituida por la elaboración de bloques de suelo – cemento.

b) Muestra:

El tipo de muestreo es no probabilístico, para el presente trabajo de investigación se utilizara las diferentes proporciones o dosificaciones de cemento para la elaboración de bloque de tierra:

- T1 = 0 % de cemento.
- T2 = 4% de cemento.
- T3 = 6 % de cemento.
- T3 = 8 % de cemento.

1.7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a) Técnicas:

- Toma de muestras.
- Mediciones.
- Ensayo de laboratorios.

b) Instrumentos:

- Equipos de laboratorio.
- Instrumentos de medición.
- Carretilla.
- Pala.
- Bandejas Metálicas.
- Balanza electrónica.
- Herramientas manuales.

1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación estudia un material alternativo, el bloque 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 es caro, 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.

1.8.2 IMPORTANCIA

La investigación de este proyecto de tesis como primer fundamento es 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.

1.8.3 LIMITACIONES

La poca información existente sobre el objeto de estudio en nuestro medio es una limitante, ya que no se tiene referencias sobre estudios anteriores en nuestro medio, que permita tener una validación de estos aspectos, así mismo para realizar este tipo de estudios se requiere la coordinación con las instituciones pertinentes que muestran poco interés por realizar este tipo de estudios.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 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.

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

“Uso potencial de las existentes cenizas circulantes de combustión de lecho fluidizado.” 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.

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”. 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.

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

“La selección de suelos para la construcción de tierra estabilizada: Una revisión normativa”. 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%.

Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo – Cemento:

Revista Cemento, empresa HYDRAFORM. 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 5mm de abertura.

Proyecto de Construcción de Módulos Anexas a Viviendas en Jujuy:

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%.

Mampostería con Tierra Estabilizada Comprimida:

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 preestablecidas, debía contener aproximadamente 60 % de limo, 30 % de arena y 10 % de arcilla.

Adobes Comprimidos Suelo-Cemento una Alternativa Ecológica:

Esta investigación difundida por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), propone la mejora de las condiciones de vida de la población altioplánica 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.

Tabla II.1.
Investigaciones previas y dosificación que recomiendan

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

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 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; 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.

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.

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.

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.

2.2.2 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.

- *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.
- *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.

- *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. 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.

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 por:

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

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.

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

2.2.3.1 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. 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.

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. 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.

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, 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 II.1.
Moldeado y preparación de adobe.



Fuente: Elaboración Propia

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.

2.2.3.2 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. Es semejante al adobe en cuanto a la composición del material, diferenciándose de este por su proceso de construcción que incluyen tres fases:

- 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.

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%. 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

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.

Encontramos tres categorías de tapial:

- a) *Tapia simple de tierra*, el material que rellena el interior de los tapiales 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 tapiales o encofrados una capa de mortero de cal antes de proceder al vertido de la tongada 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.

2.2.3.3 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.

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.

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.

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.

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.

2.2.4 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.

2.2.4.1 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:

- *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*

- *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*

- *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.

2.2.4.2 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.

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.

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.

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.

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.

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.

Tabla II.2.
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		Especificaciones técnicas
	NB 1220022:2008						Especificaciones y métodos de ensayo de bloques prensados de tierra.
	NB 1220023:2008						
	NB 1220024:2008						
	NB 1220025:2008						
	NB 1220026:2008						
	NB 1220027:2008						
	NB 1220028:2009						
	NB 1220029:2009						
	NB 1220030:2009						Buenas prácticas para la producción.
	Especificaciones técnicas para morteros						
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						

Fuente: American Society for Testing and Materials

2.2.5 COMPONENTES DE LADRILLO SUELO – CEMENTO

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.

2.2.5.1. 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). Deben rechazarse las tierras que contengan:

- 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.

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 μm .

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, cuantas más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástica es la arcilla. 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 [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 (trituration, 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.

- 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.
- 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 figuración.

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 0,0625mm.

- *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.

2.2.5.2. 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:

a) *De origen arcilloso*: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.

b) *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:

- 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.

2.2.5.3. 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.

Se puede conseguir el valor de esta humedad mediante ensayo de compactación de Proctor estándar según las normas peruana MTC7 E116- 2000 y americana ASTM8 D-698, o mediante el pesado sucesivo de bloques, añadiendo o disminuyendo la cantidad de agua hasta alcanzar la máxima densidad. 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.

2.2.6 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.

Cuando la tierra no posee las características adecuadas para la construcción, estas pueden alcanzarse precisamente con el uso de

estabilizantes. Estos son productos que interaccionan 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:

- 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.

2.2.6.1. 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. 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.

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

2.2.6.2. 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.

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.

2.2.6.3. 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.

Figura II.2.
Estabilización Física, mejoramiento de suelo a través de la combinación para cambiar sus propiedades



Fuente: Elaboración propia

2.2.7 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.

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 II.3.
Prensado de tierra



Fuente: Elaboración propia

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 II.4.
Curado y secado de los ladrillos suelo-cemento



Fuente: Elaboración propia

2.2.8 CARACTERISTICAS DE MORTEROS

El mortero es toda mezcla compuesta por:

- 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.

CAPITULO III

PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 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.

3.1.1 TIERRA

Para la realización de este trabajo experimental se ha utilizado un suelo arcilloso de las localidades de Caracoto tierra limosa proveniente de Taparachi, y arena gruesa de la cantera de Cabanillas. 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 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.).

3.1.1.1 Suelo Arcilloso de Caracoto:

El suelo empleado es una muestra de la tierra arcillosa procedente de las canteras de Caracoto del distrito de Juliaca, Provincia de San Román (Puno).

Figura III.1.
Tierra arcillosa de la cantera



Fuente: Elaboración propia

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/cm³.

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.

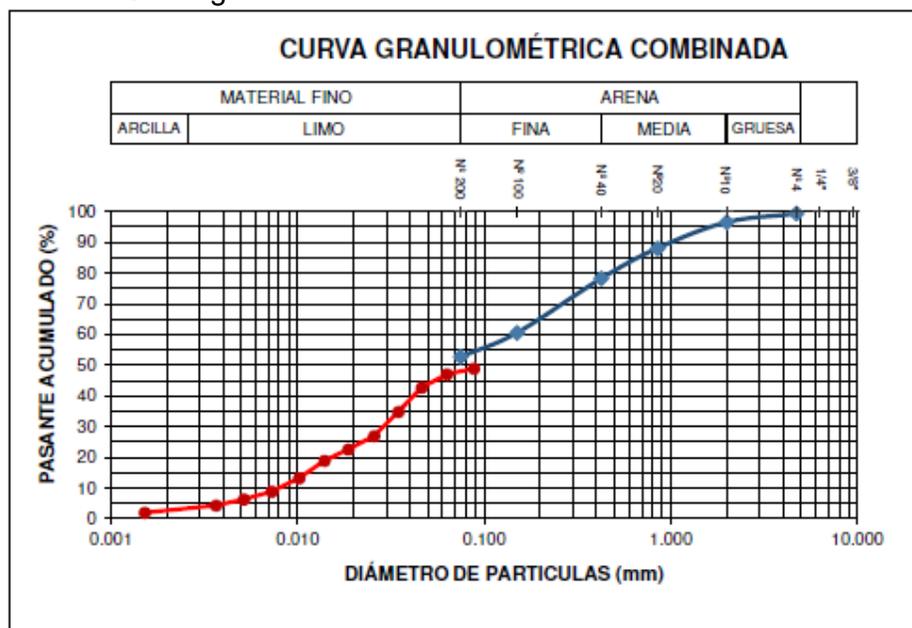
3.1.1.2 Suelo Limoso de Taparachi:

El suelo empleado es una muestra de la tierra limosa procedente de las canteras de Taparachi distrito de Juliaca, San Román – Puno.

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/cm³.

Tabla III.3.
Curva granulométrica combinada de la tierra limosa



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura III.2.
Tierra limosa tamizada por la malla #4

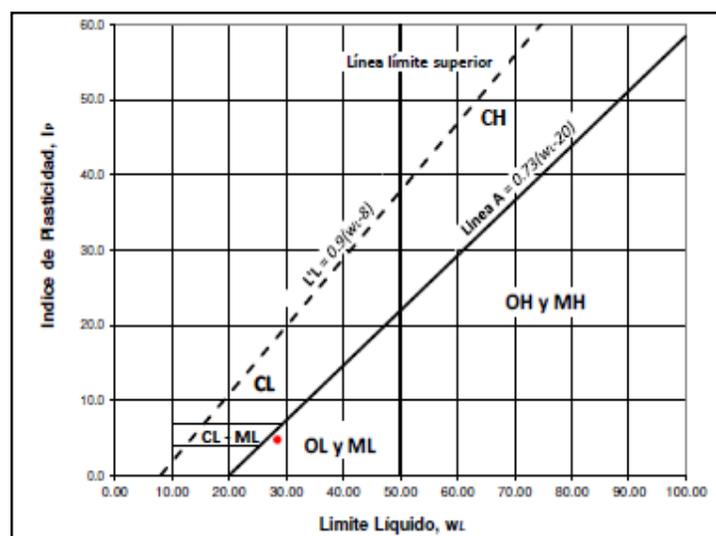


Fuente: Elaboración propia.

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%

Tabla III.5.
Carta de Casagrande del suelo de Poci.



Fuente: Elaboración propia

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.

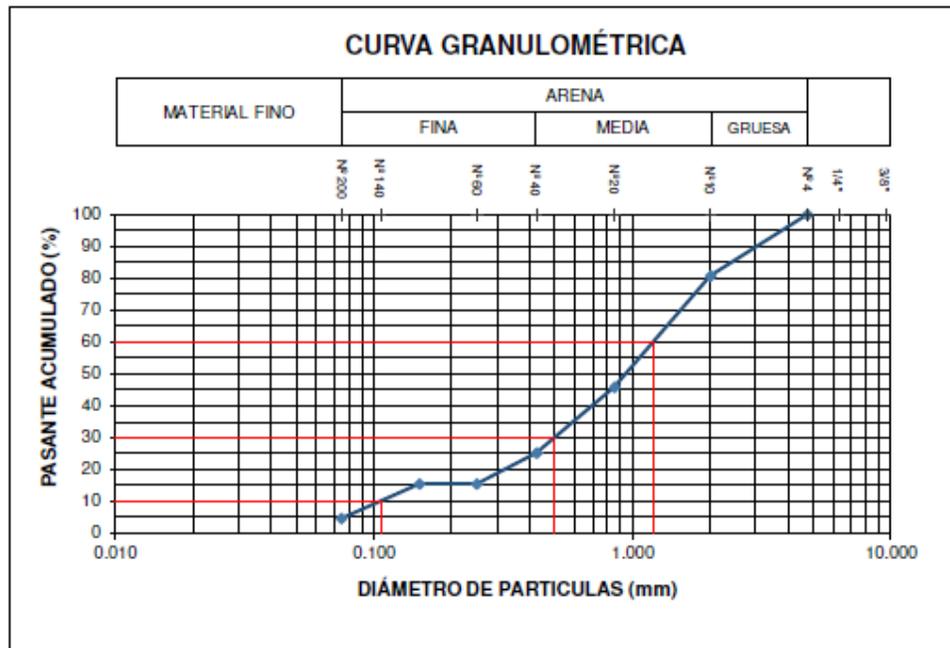
3.1.1.3 Material Arenoso de Cabanillas:

El material empleado es una muestra de agregado fino procedente de la chancadora de Cabanillas ubicada en el distrito de Cabanillas, Provincia de San Román – Puno.

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

Tabla III.6.
Curva granulométrica de la arena de la cantera de Cabanillas.



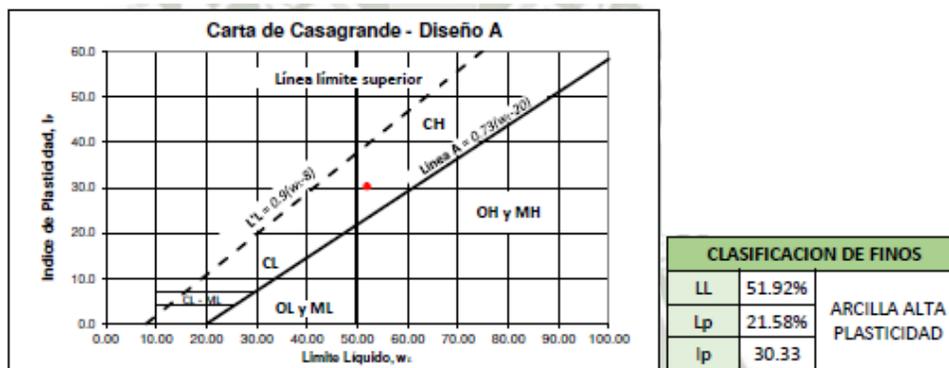
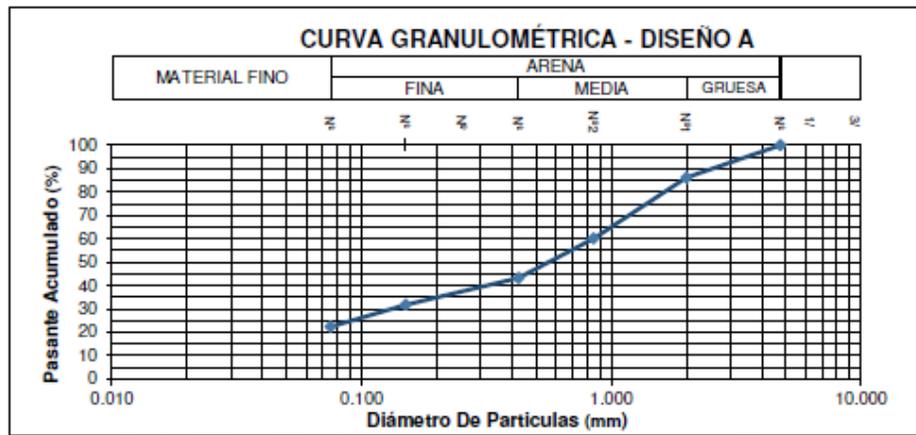
Fuente: Elaboración propia.

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.

3.1.2 COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS

DISEÑO A: ARENA ARCILLOSA.

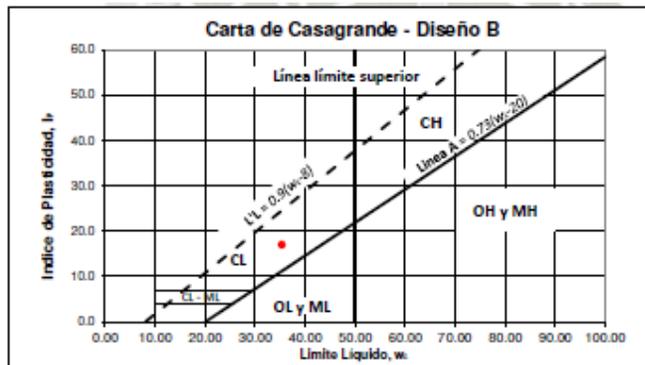
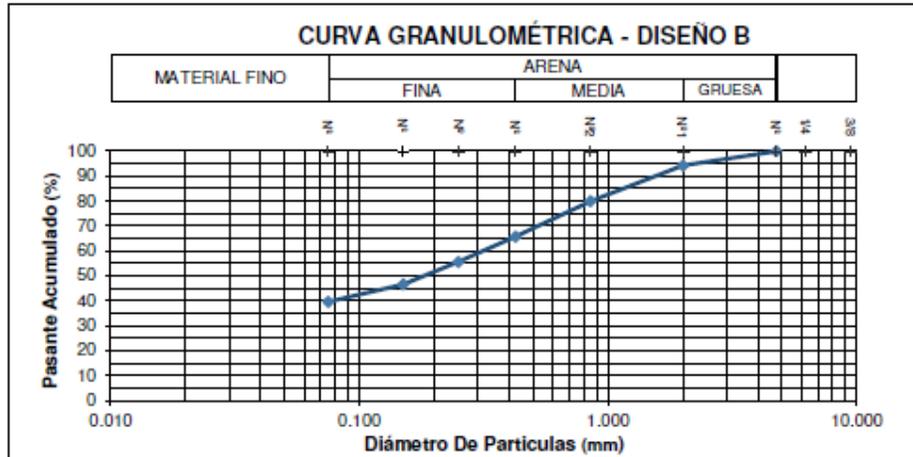
Tabla III.7.
Diseño A. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



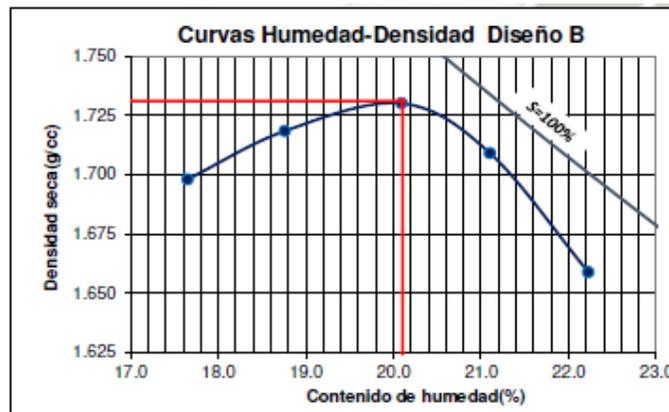
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO B: ARENA ARCILLOSA

Tabla III.8.
Diseño B. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

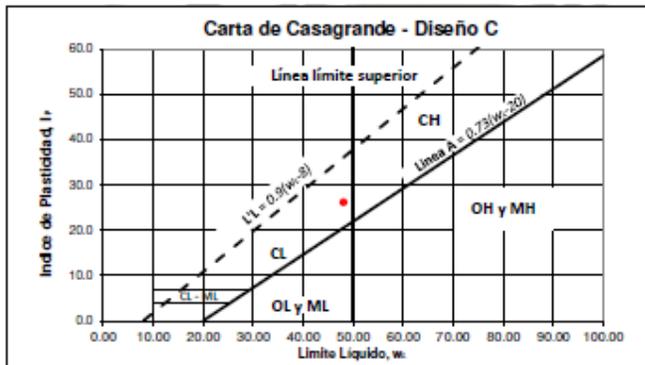
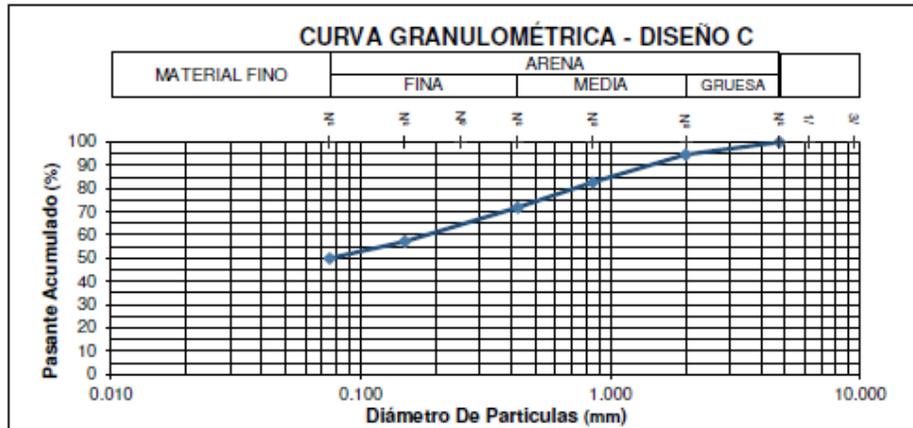


Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
20.10%	1.73 g/cm ³

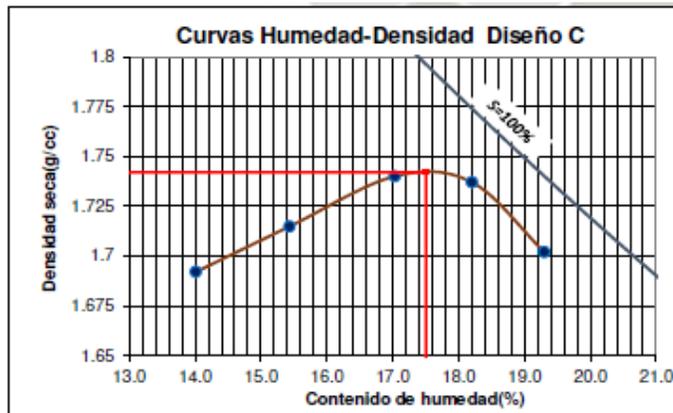
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO C: ARENA ARCILLOSA

Tabla III.9.
Diseño C. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

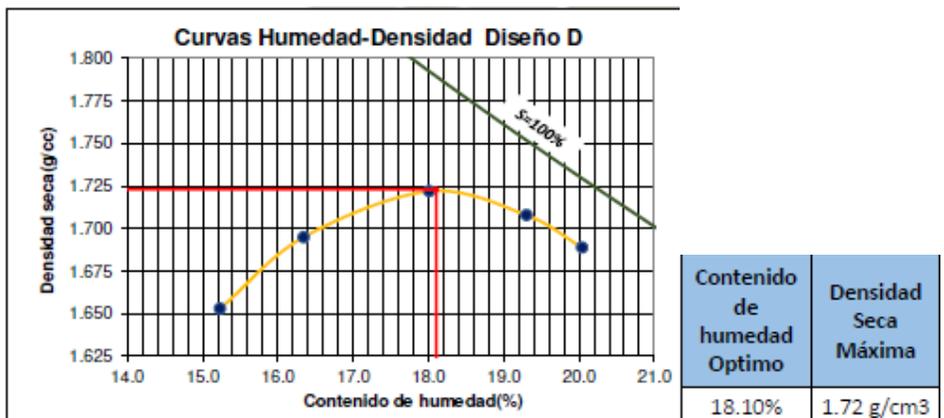
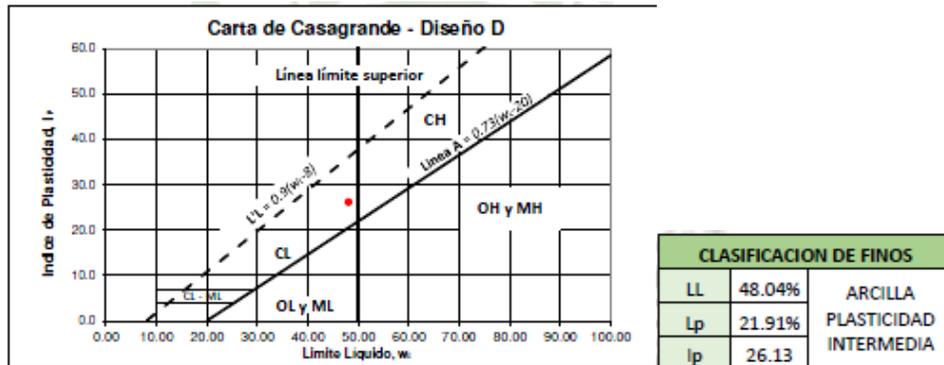
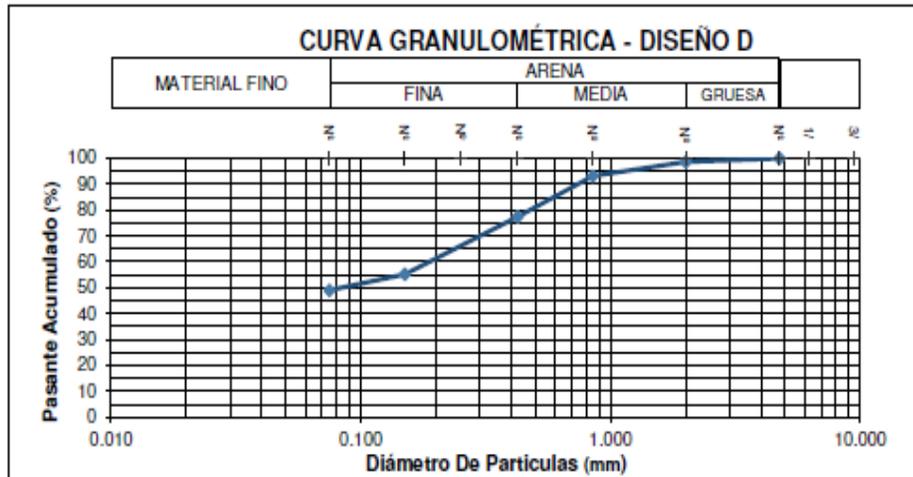


Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
17.50%	1.74 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO D: ARENA ARCILLOSA

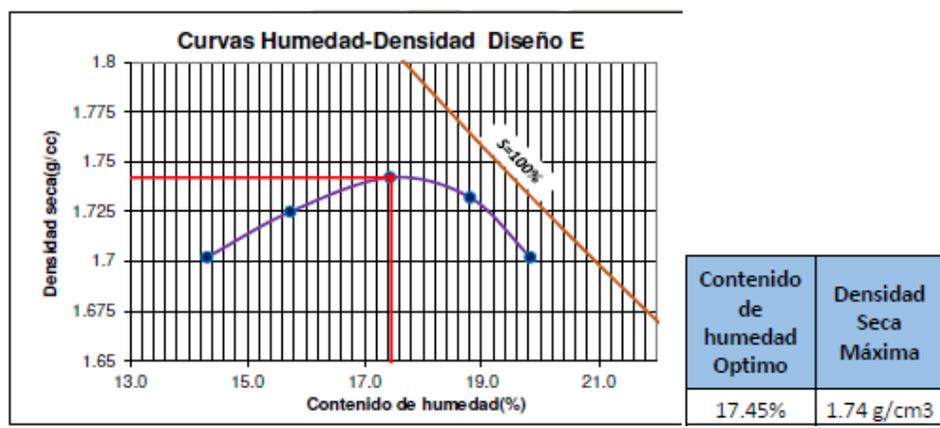
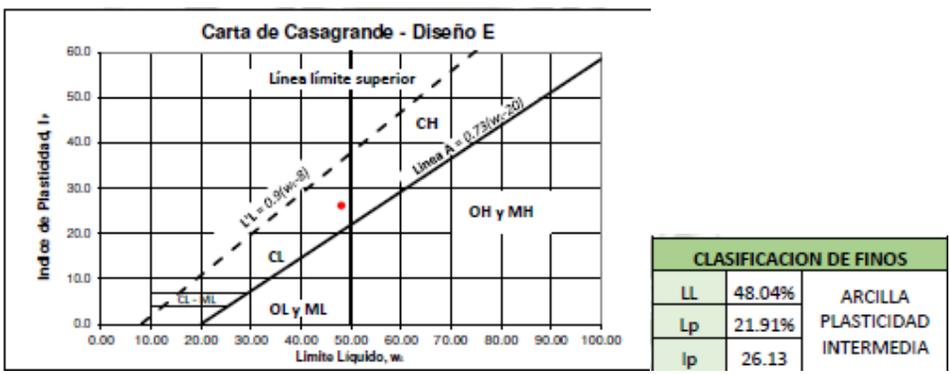
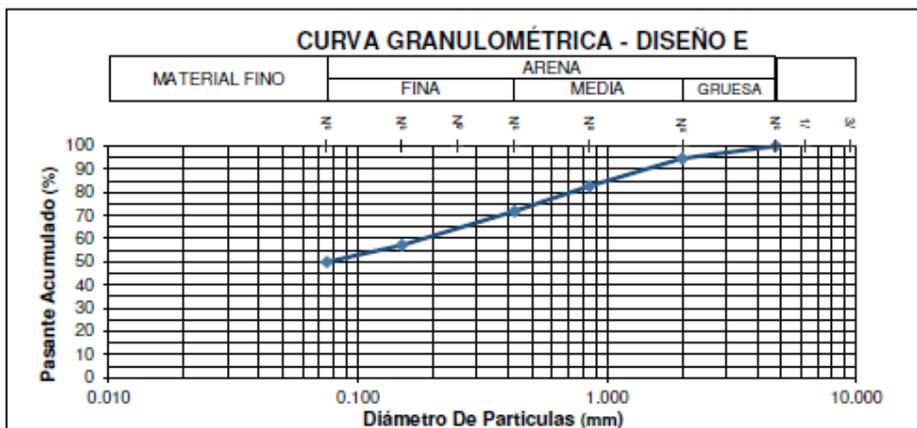
Tabla III.10.
Diseño D. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO E: ARENA ARCILLOSA

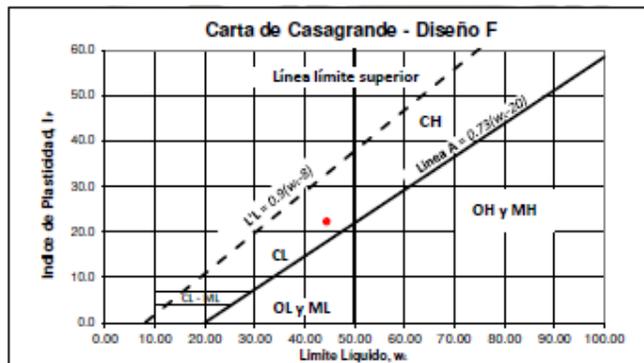
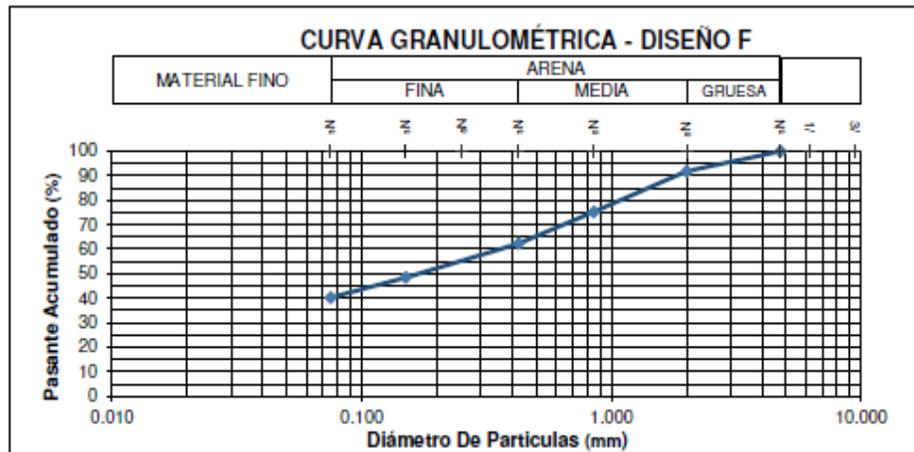
Tabla III.11.
Diseño E. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



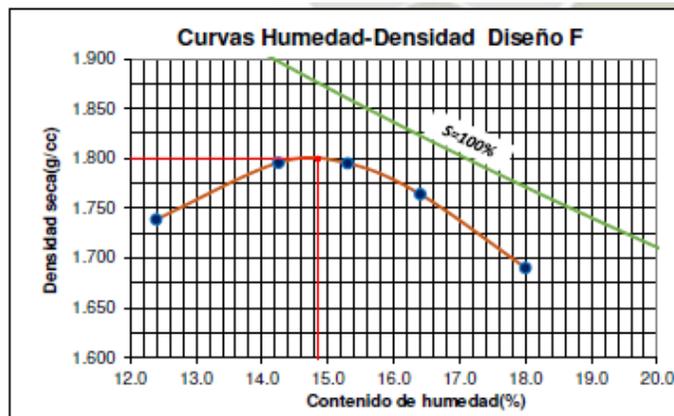
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO F: ARENA ARCILLOSA

Tabla III.12.
Diseño F. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

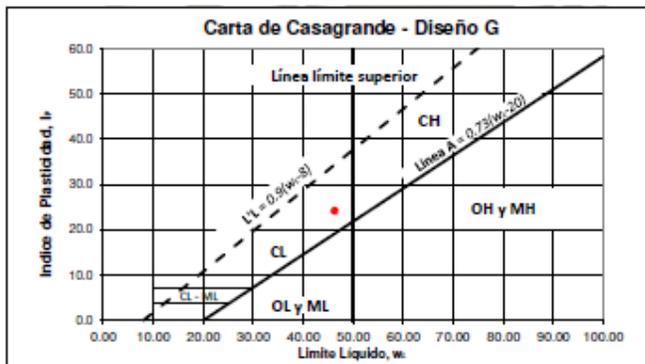
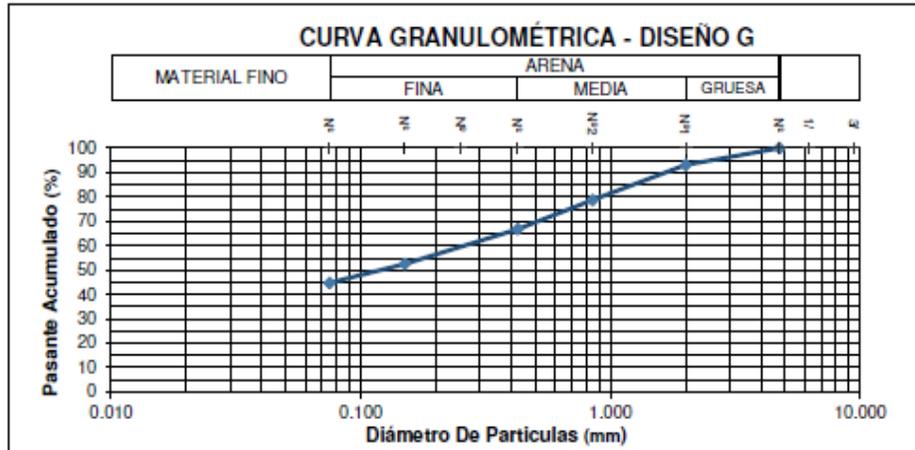


Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
14.85%	1.80 g/cm ³

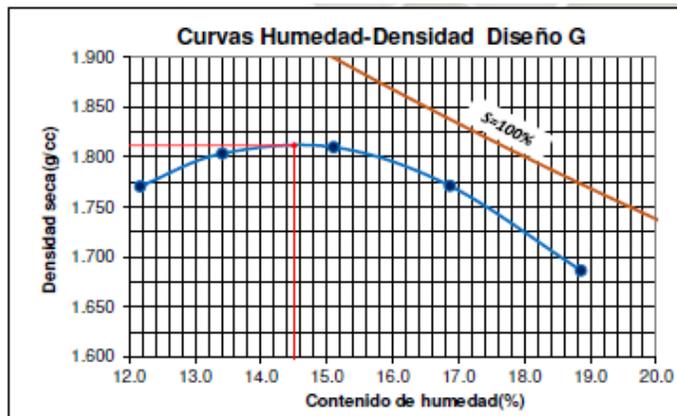
Fuente: Elaboración propia

DISEÑO G: ARENA ARCILLOSA

Tabla III.13.
Diseño G. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

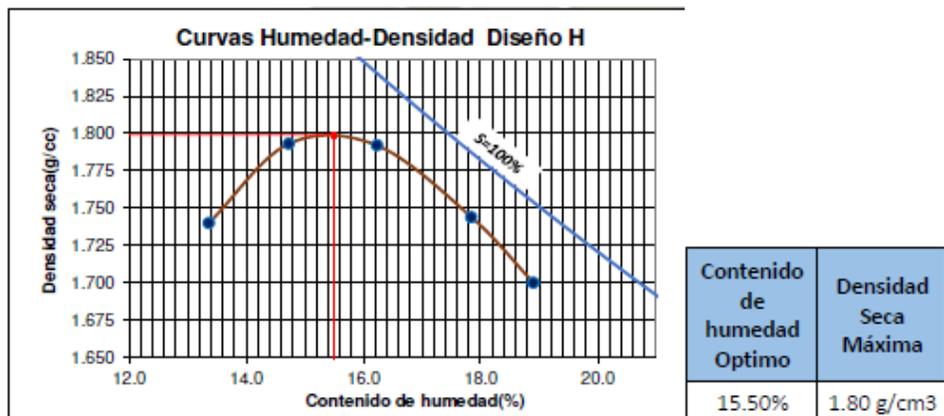
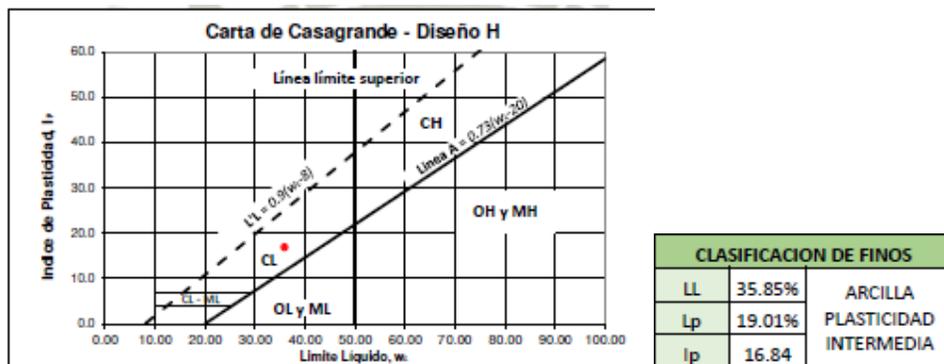
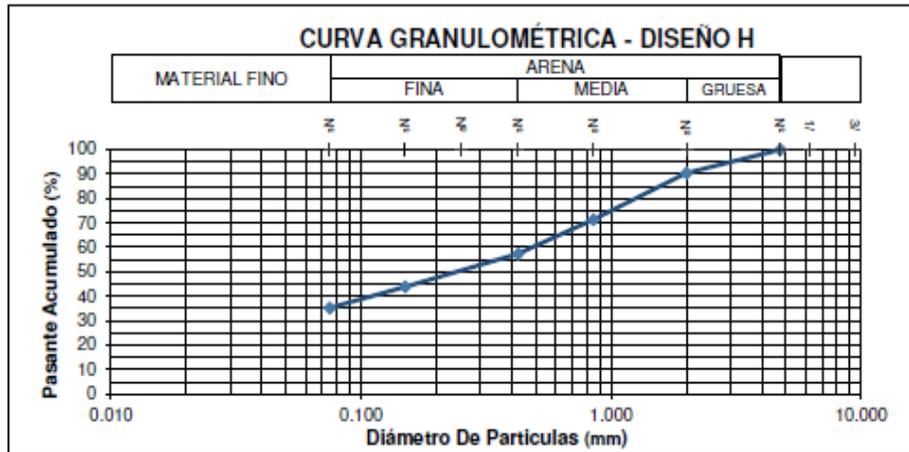


Contenido de humedad Óptimo	Densidad Seca Máxima
14.50%	1.81 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO H: ARENA ARCILLOSA

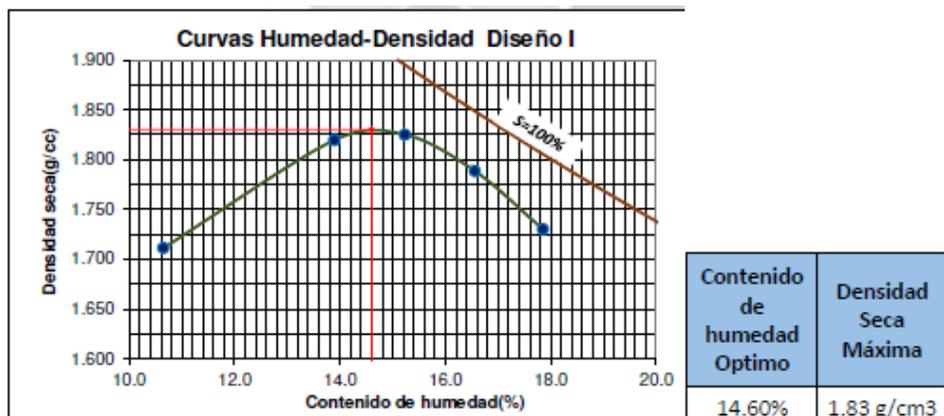
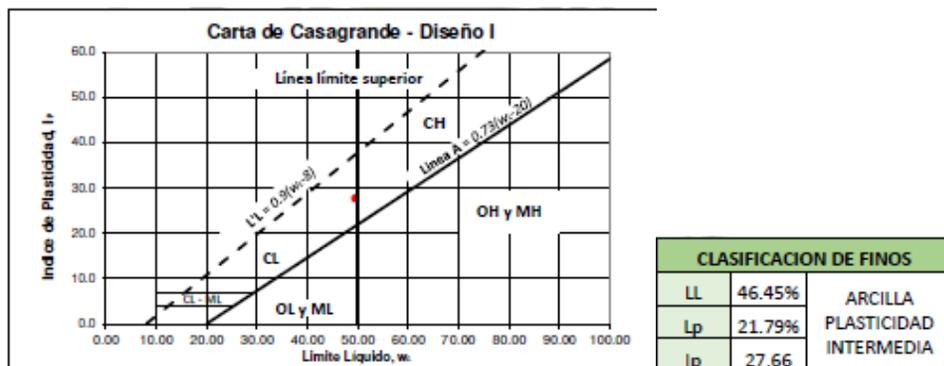
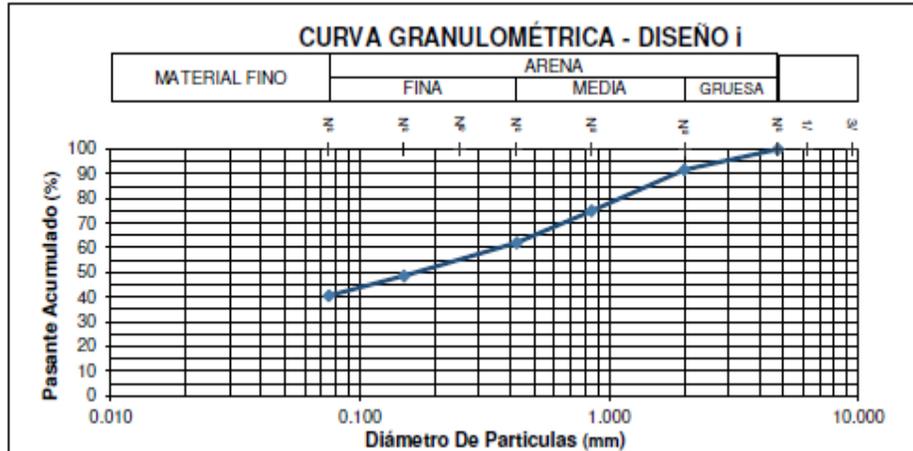
Tabla III.14.
Diseño H. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO I: ARENA ARCILLOSA

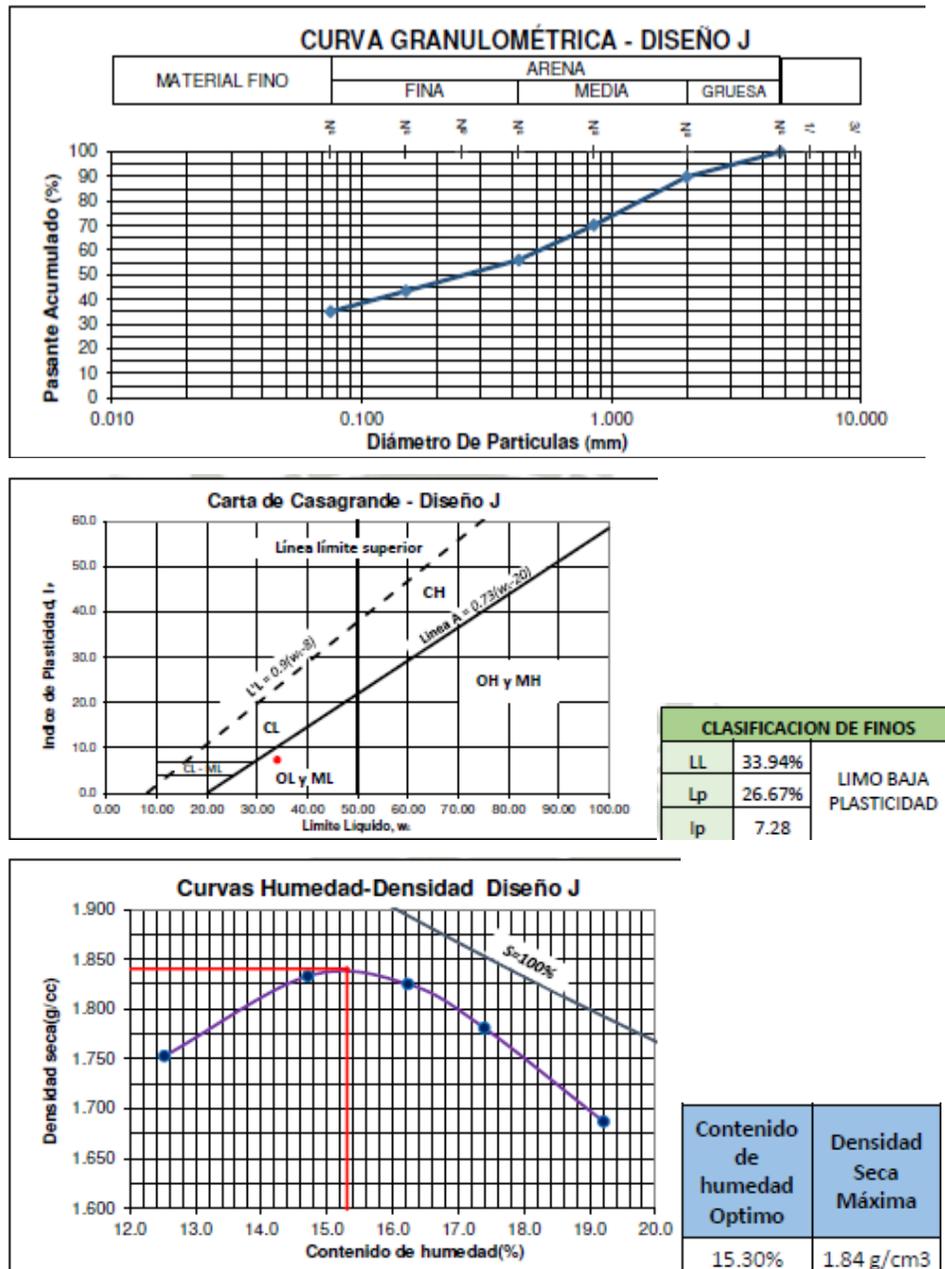
Tabla III.15.
Diseño I. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO J: ARENA LIMOSA

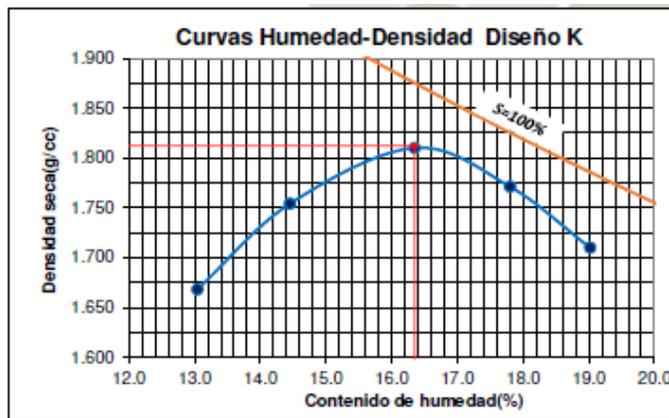
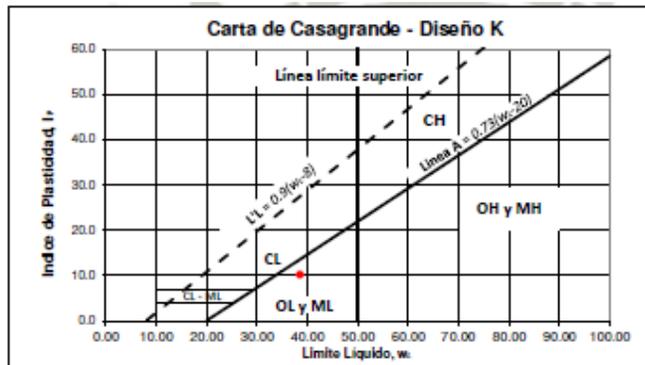
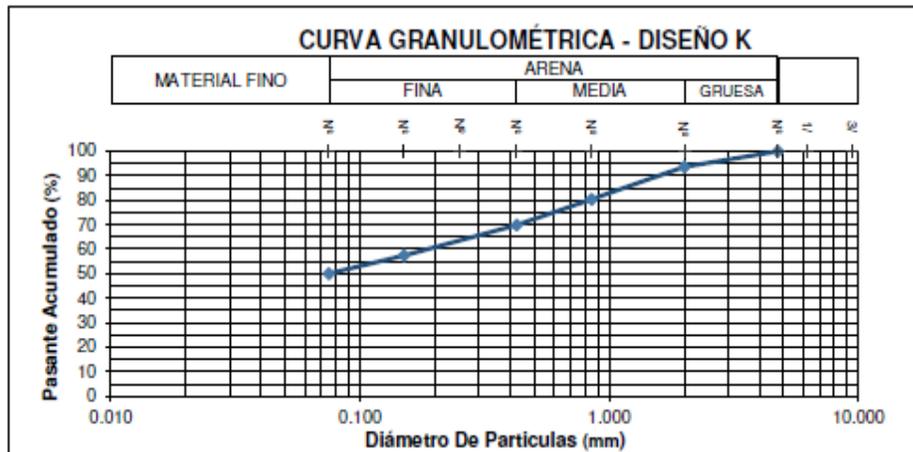
Tabla III.16.
Diseño J. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO K: ARENA LIMOSA

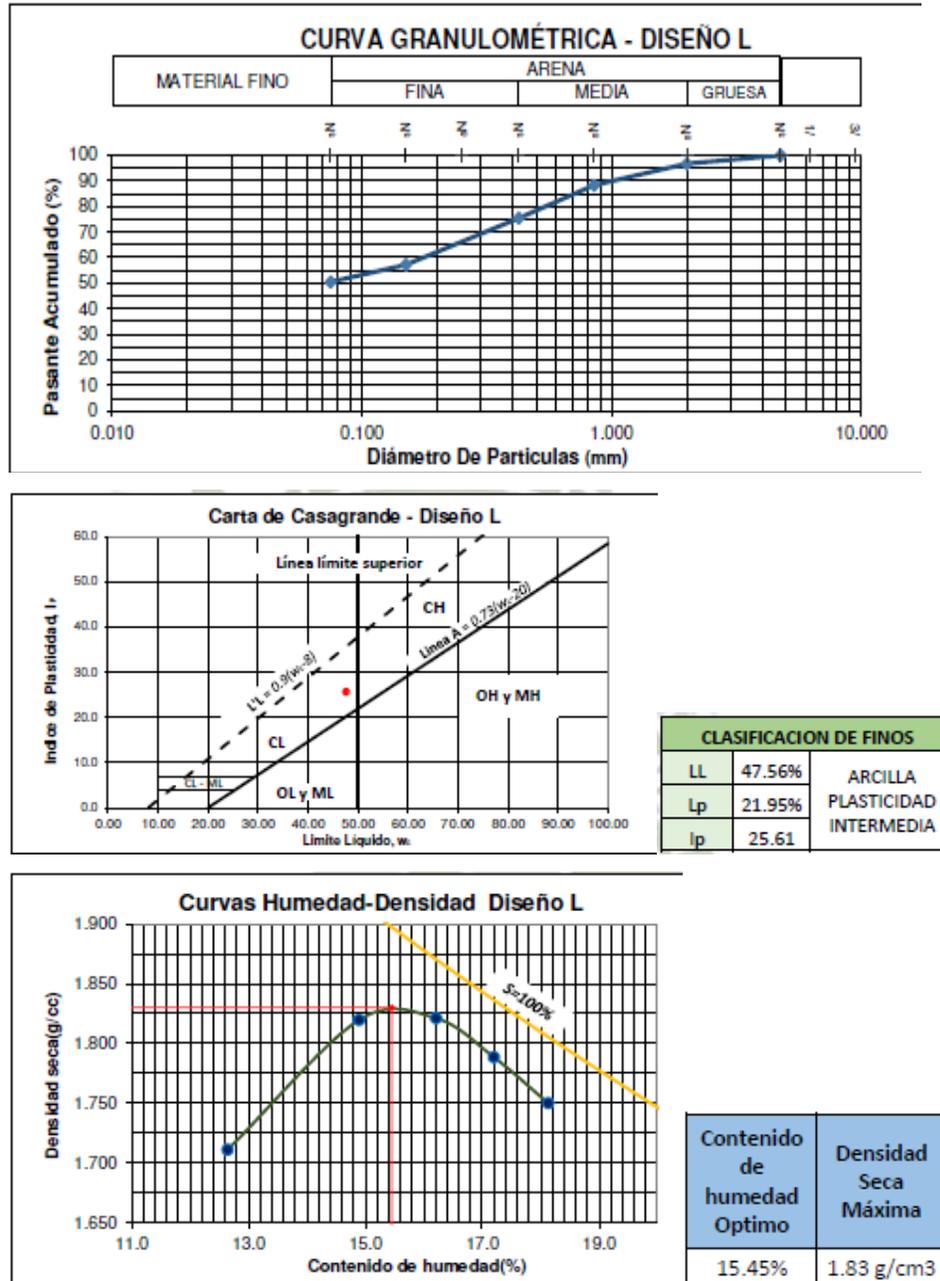
Tabla III.17.
Diseño K. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO L: ARENA ARCILLOSA

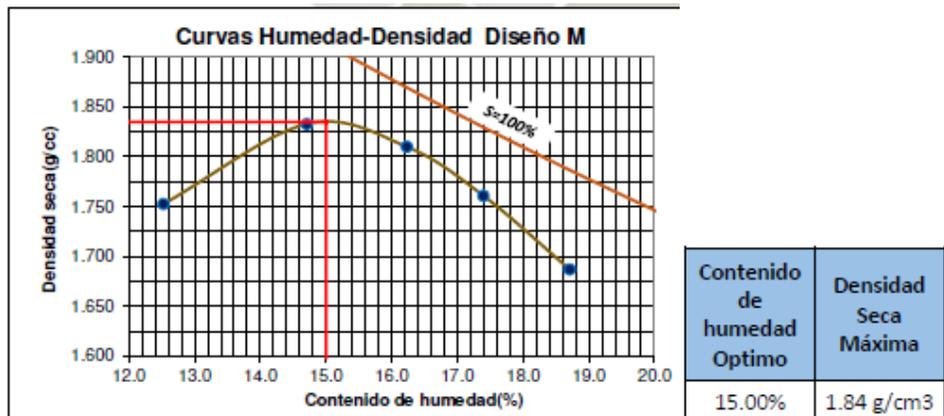
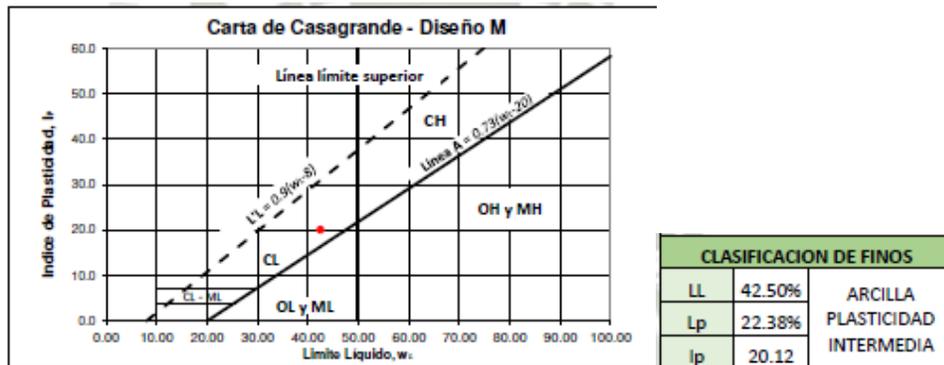
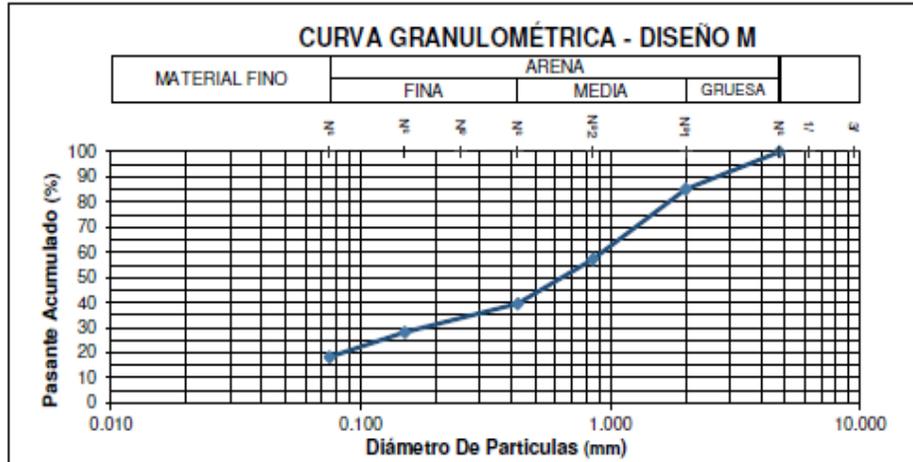
Tabla III.18.
Diseño L. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO M: ARENA ARCILLOSA

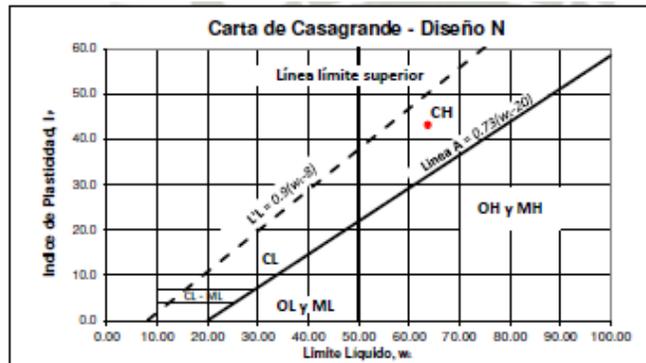
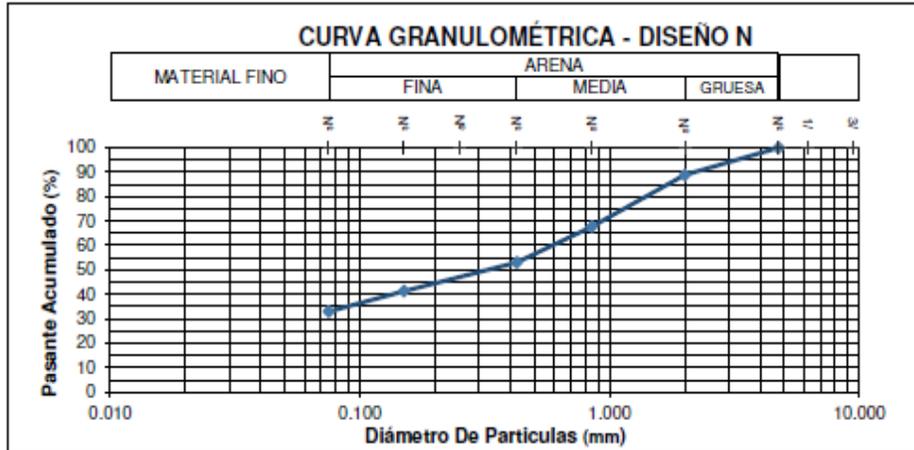
Tabla III.19.
Diseño M. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



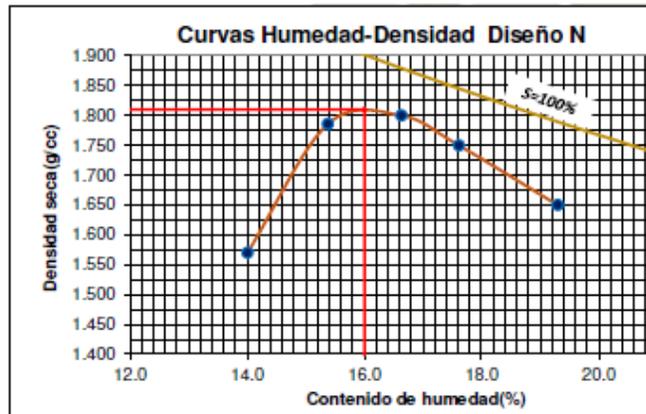
Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO N: ARENA ARCILLOSA

Tabla III.20.
Diseño N. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

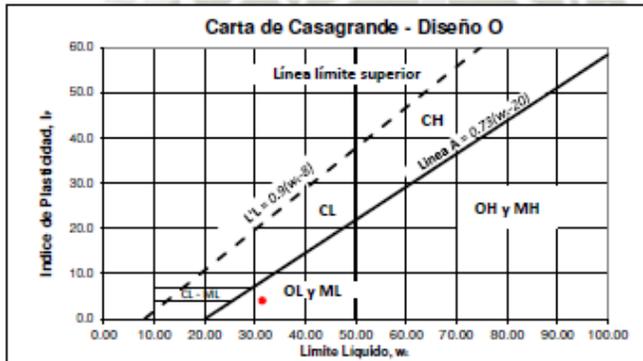
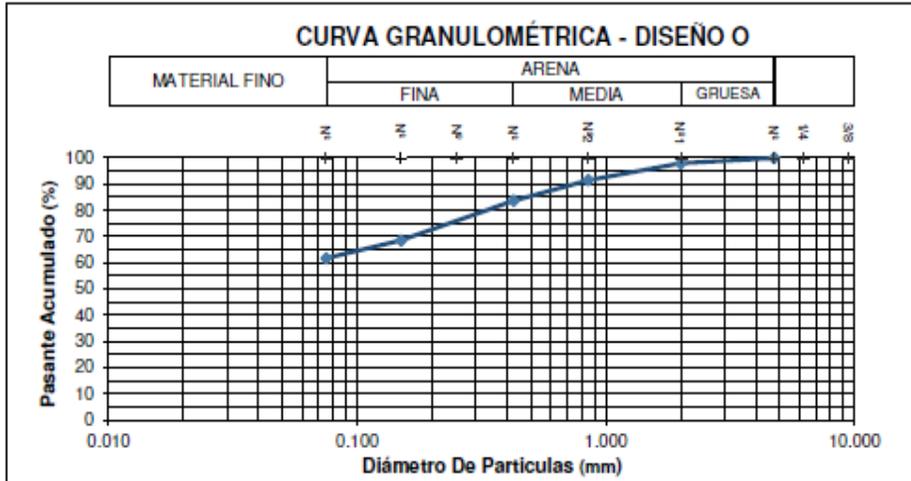


Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
16.00%	1.81 g/cm ³

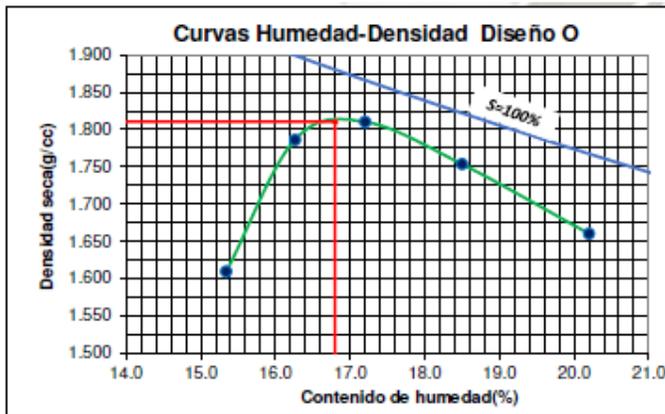
Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO O: LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

Tabla III.21.
Diseño O. Curva granulométrica, carta de Casagrande y curva humedad-densidad



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

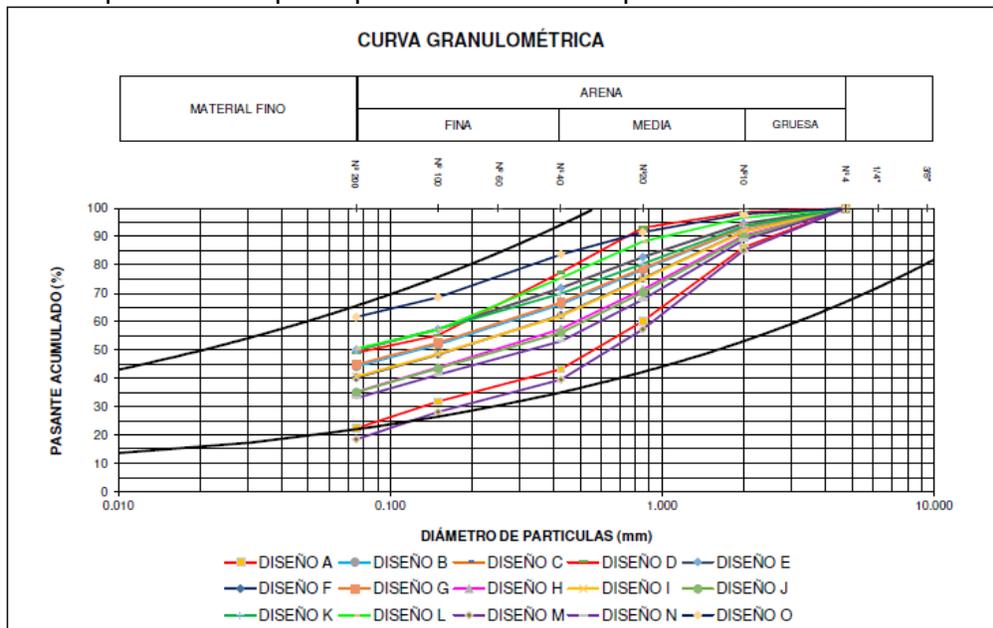


Contenido de humedad Optimo	Densidad Seca Máxima
16.80%	1.81 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

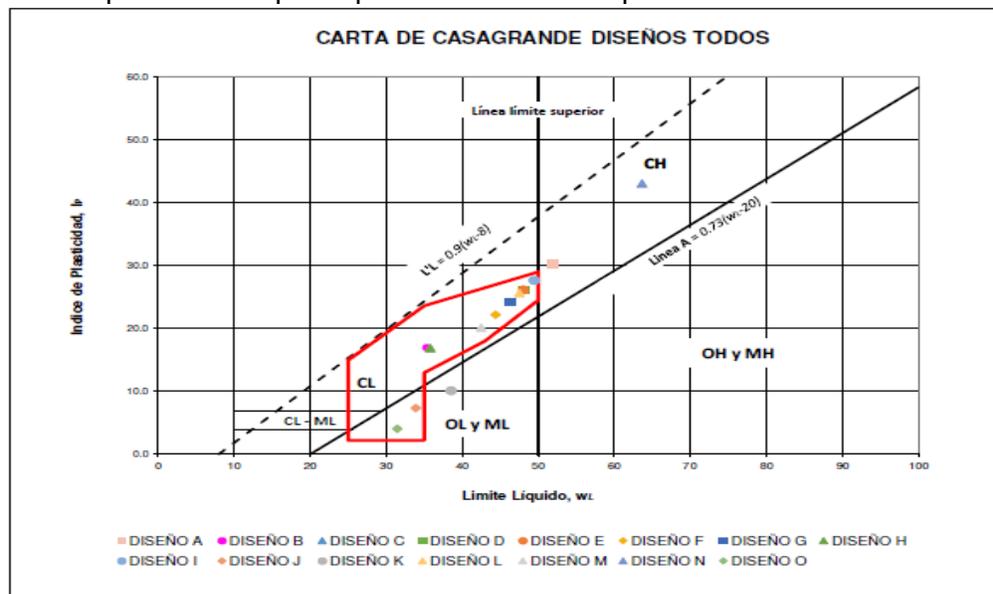
CURVA GRANULOMÉTRICA

Tabla III.22.
Curva granulométrica de todos los diseños definidos encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.23.
Límites de Atterberg de todos los diseños elaborados, encerrados en los parámetros que especifica la norma española UNE 41410



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 METODO DE ENSAYOS REALIZADOS

3.1.3.1. 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 µm (retenidas en el tamiz No 200) se determina por tamizado, en tanto que la distribución de las partículas más pequeñas que 75 µm se determina por un proceso de sedimentación.

3.1.3.2. 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).

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 °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.

3.1.3.3. 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.

3.1.3.4. 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.

3.1.3.5. 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.

3.1.3.6. 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

3.1.3.7. 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.

3.1.3.8 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/cm²) 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.

3.1.3.9. 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 10mm. 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.

3.1.3.10. 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.

3.1.3.11. 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 III.3.
Determinando alabeo por convexidad de la cara del ladrillo.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

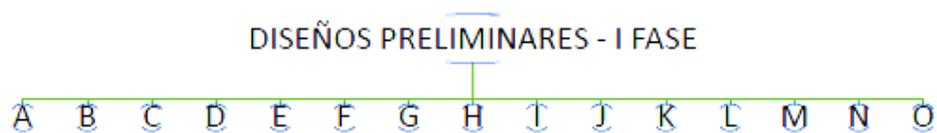
En el presente capítulo se analizan y valoran los resultados obtenidos de los ensayos realizados en tres fases. En las dos primeras fases, se analizan básicamente los resultados obtenidos de los ensayos clasificatorios, para cada combinación propuesta. Mientras que en la tercera fase, además de analizar 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.

4.1 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%.



4.1.1 ALABEO

Tabla IV.1.
Alabeo de los 15 diseños de la I fase

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

Fuente: Elaboración propia

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.

4.1.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL

Tabla IV.2.
Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase

Especimen	ALTURA (mm)					Hp	H (mm)	70
	H1	H2	H3	H4	Ho		σ	%
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			

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.3.
Variación dimensional de la altura de los 15 diseños de la I fase

Especimen	ALTURA (mm)						H (mm)	70
	H1	H2	H3	H4	Ho	Hp	σ	%
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

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.1.
Medición de un espécimen con vernier



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.4.
Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Especimen	ANCHO (mm)					A (mm)	125	
	A1	A2	A3	A4	Ao	Ap	σ	%
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			

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.5.
Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Especimen	ANCHO (mm)						A (mm)	125
	A1	A2	A3	A4	Ao	Ap	σ	%
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

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.6.
Variación dimensional del largo de los 15 diseños de la I fase

Especimen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	σ	%
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			

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.7.
Variación dimensional del ancho de los 15 diseños de la I fase

Especimen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	σ	%
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

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores 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.

4.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla IV.8.
Resistencia a la compresión de los 15 diseños de la I fase

PROBETA COD.	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	V. Neto (cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c Promedio (kg/cm ²)
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	

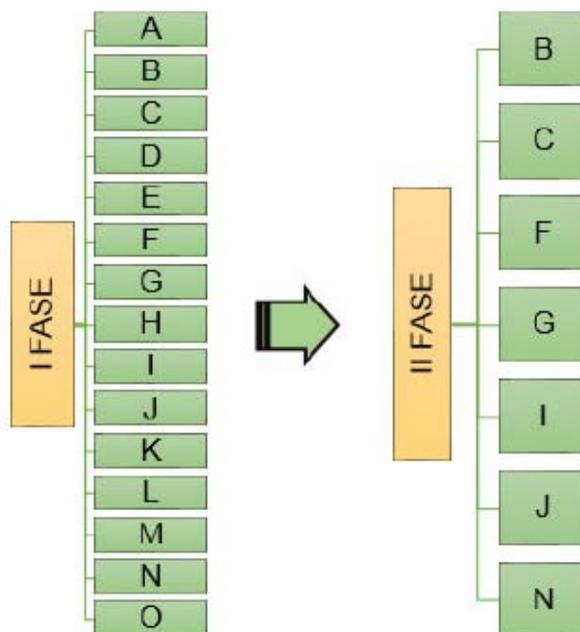
PROBETA COD.	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	V. Neto (cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c Promedio (kg/cm ²)
H1	7	9	12.60	25.10	6.88	2174.29	487.92	1686.37	245.29	15690	63.97	57.94
H2	7	9	12.50	25.10	6.75	2117.81	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	

Fuente: Elaboración propia

4.2 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.



4.2.1 ALABEO

Tabla IV.9.
Alabeo de los 07 diseños de la II fase

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	

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.2.
Medición del alabeo



Fuente: Elaboración propia

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.

4.2.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL

Tabla IV.10.
Variación dimensional de la altura de los 07 diseños de la II fase

Especimen	ALTURA (mm)						H (mm)	70
	H1	H2	H3	H4	Ho	Hp	σ	%
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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV.11.
Variación dimensional del largo de los 07 diseños de la II fase

Especimen	LONGITUD (mm)						L (mm)	250
	L1	L2	L3	L4	Lo	Lp	σ	%
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

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.12.
Variación dimensional del ancho de los 07 diseños de la II fase

Especimen	ANCHO (mm)					Ap	A (mm)	125
	A1	A2	A3	A4	Ao		σ	%
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

Fuente: Elaboración propia

Se continúa con el mecanismo de la primera fase, en las tablas anteriores 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 IV.3.
Toma de medidas de un espécimen



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla IV.13.
Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase

PROBETA COD.	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	V. Neto (cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c Promedio (kg/cm ²)
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	

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.4.
Resistencia a la compresión de los 07 diseños de la II fase



Fuente: Elaboración propia

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/cm², 72.35 kg/cm² y 67.29 kg/cm² respectivamente.

4.3 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 compresión 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. 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.

4.3.1 PRUEBAS ADICIONALES

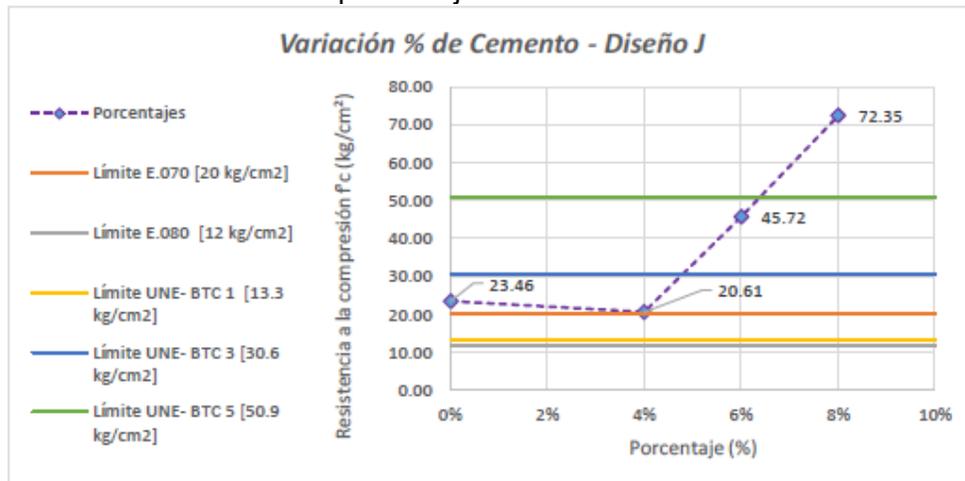
a) Variación en el porcentaje de cemento:

Tabla IV.14.
Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento

PROBETA	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	(cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c Promedio (kg/cm ²)
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	

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.5.
Resistencia a la compresión del diseño J con variaciones en el porcentaje de cemento



Fuente: Elaboración propia

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

Cuando se tuvo un curado con manta polar humedecida se alcanzó una resistencia de 66.28 kg/cm², mientras que el curado echando agua directamente a la manta encima de los ladrillos la resistencia desciende a 45.28 kg/cm². Se puede inferir que la resistencia se ve afectada hasta en un 32%.

4.3.2 ALABEO

a) Diseño "G":

Tabla IV.15.
Alabeo diseño G fase III

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
Promedio	1	0

Fuente: Elaboración propia

b) Diseño "I":

Tabla IV.16.
Alabeo diseño I fase III

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
Promedio	1	0

Fuente: Elaboración propia

c) Diseño "J":

Tabla IV.17.
Alabeo diseño J fase III

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
Promedio	1	0

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores 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 IV.6.
Alabeo con convexidad del espécimen



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 VARIACIÓN DIMENSIONAL

a) Diseño “G”:

Tabla IV.18.
Variación dimensional diseño G fase III

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	
				L	250.00					A	125.00				H	70.00
				σ	0.12					σ	0.18				σ	0.56
				Lp	251.47					Ap	126.48				Hp	68.84
				%	0.59					%	1.18				%	-1.65

Fuente: Elaboración propia

b) Diseño “I”:

Tabla IV.19.
Variación dimensional diseño I fase III

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	
				L	250.00					A	125.00				H	70.00
				σ	0.15					σ	0.17				σ	1.05
				Lp	251.52					Ap	126.44				Hp	70.78
				%	0.60					%	1.13				%	1.11

Fuente: Elaboración propia

c) Diseño “J”:

Tabla IV.20.
Variación dimensional diseño J fase III

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
				L	250.00					A	125.00			H	70.00
				σ	0.10					σ	0.10			σ	1.78
				Lp	251.51					Ap	126.47			Hp	69.63
				%	0.60					%	1.17			%	-0.53

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores 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.

4.3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA UNIDADES

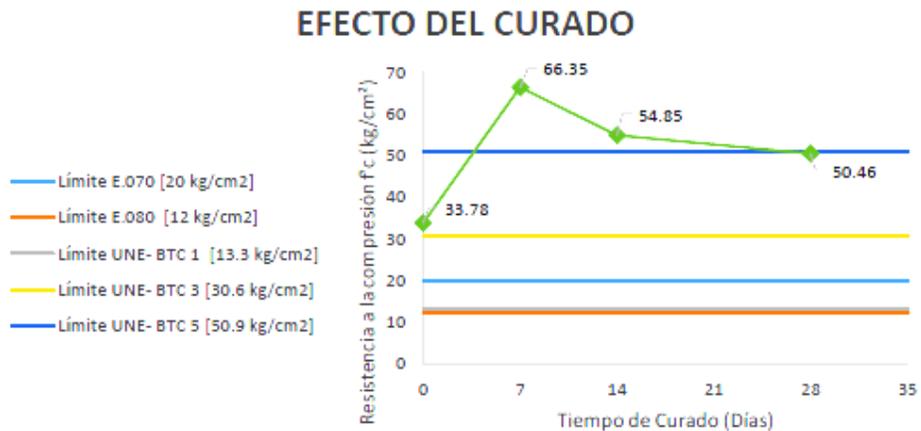
a) Diseño “G”:

Tabla IV.21.
Resistencia a la compresión de unidades del diseño G

PROBETA	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	(cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c Promedio (kg/cm ²)
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	

Fuente: Elaboración propia.

Figura IV.7.
Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño G



Fuente: Elaboración propia

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

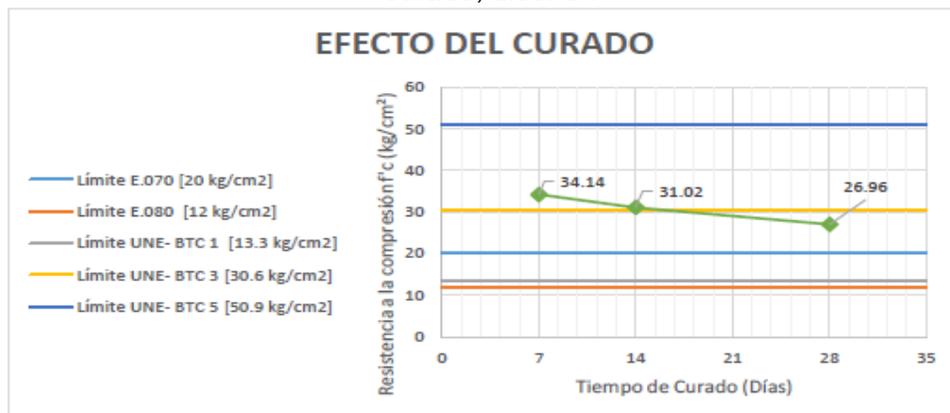
b) Diseño “I”:

Tabla IV.22.
Resistencia a la compresión de unidades del diseño I

PROBETA	Curado	Edad	Ancho	Largo	Altura	V. Bruto	V. Huecos	V. (cm3)	Área	Fuerza	f'c	f'c Promedio
COD.	(días)	(días)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	Prom. (cm)	(cm3)	(cm3)	(cm3)	(cm2)	(kg)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
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	

Fuente: Elaboración propia.

Figura IV.8.
Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño I



Fuente: Elaboración propia

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

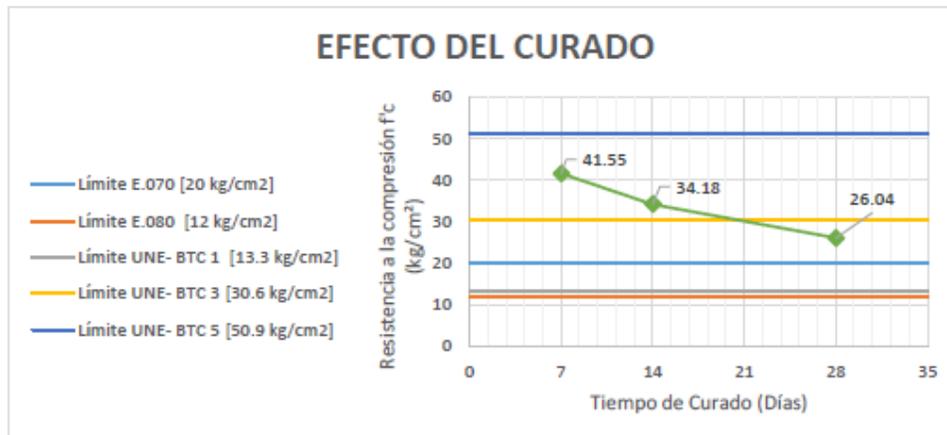
c) Diseño “J”:

Tabla IV.23.
Resistencia a la compresión de unidades del diseño J

PROBETA	Curado (días)	Edad (días)	Ancho Prom. (cm)	Largo Prom. (cm)	Altura Prom. (cm)	V. Bruto (cm ³)	V. Huecos (cm ³)	(cm ³)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c Promedio (kg/cm ²)
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	

Fuente: Elaboración propia

Figura IV.9.
Variación de la resistencia a la compresión en función de los días de curado, diseño J



Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran las resistencias obtenidas en cada ladrillo en función del 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.

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:

Primero: 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.

Segundo: 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/in².

Tercero: 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.

Cuarto: Resistencia a la compresión para la unidad fue 84.40 kg/cm². El contenido de impurezas orgánicas fue de 1.37%, el cual no sobrepasa el límite de 2%.

RECOMENDACIONES.

Primero: Si se realiza un mezclado manual de la tierra, la cantidad recomendada para mejor trabajabilidad, es la equivalente para quince ladrillos.

Segundo: 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.

Tercero: 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.

Cuarto: La importancia de un correcto mortero de pega es fundamental, se recomienda para mayor facilidad trabajar con mangas que permitan colocar correctamente el mortero.

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.

Cara de apoyo: Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.

Cohesión: 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.

Dimensión efectiva: Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.

Dimensión nominal: Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.

Durabilidad: 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).

Exposición severa: 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.

Fisura: Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.

Hueco: Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fábrica de albañilería.

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas Certificación.

INDECOPI: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual.

Ladrillo: Unidad que por su dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano.

Sección bruta (Sb): 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.

Sección de apoyo (Sa): 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.

Sección neta (Sn): 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.

SENCICO: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Tapial: 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.

UNE: Unión Nacional Española.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. de Oteiza, «*Introducción a la Construcción con Tierra*» de "Arquitectura y Construcción de Tierra", Tradición e Innovación, 2002.
- M. Blondet, G. Villa y S. Brzev, "Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos", Enciclopedia Mundial de Vivienda del EERI/IAEE, 2003.
- 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.
- 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.
- F. Gatti, «*Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra*» de "Arquitectura y Construcción en Tierra", Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2012.
- 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/>.
- 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.
- Ministerio de Vivienda, "Norma E.070: Albañilería", Gobierno de Perú, 10 de junio de 2006.

Ministerio de Vivienda, "*Norma E.080: Adobe*", Gobierno de Perú, 10 de junio de 2006.

Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento "*Norma E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada*", Gobierno de Perú, 07 de abril de 2017.

R. Rotondaro, «Adobe,» de "*Técnicas de Construcción con Tierra*", REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA, 2011.

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.

UPTC – CEDEC, "*Revista Facultad de Ingeniería*", vol. 20, N° 31, Julio-Diciembre 2011.

S. Bestraten, E. Hormías y A. Altemir, «*Construcción con tierra en el siglo XXI*» "*Informes de la Construcción*", vol. 63, N° 523, 2011.

«*Red construTIERRA, red de investigación en tierra de España*» [En línea]. Available:http://www.construtierra.org/construtierra_construir_con_tierra.html.

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/>.

A. Das, J. Alam, N. Hoque y M. Shariful, «*Mud House of Bangladesh*» de "*World Housing Encyclopedia*", 2007.

M. Choudhary, K. S. Jaiswal y. R. Sinha, «*Traditional rural house in Kutch region of India (bhonga)*» de "*World Housing Encyclopedia*", 2002.

M. Sassu y I. Ngoma, «*Unburnt brick wall building with pitched roof (nyumba ya zidina)*» de "World Housing Encyclopedia", 2002.

Gobierno de España, UNE 41410: "*Bloques de tierra comprimida*", AENOR, diciembre de 2008.

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.

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.

I. Cañas y C. Jiménez, «*The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review*» de Construction and Building Material, Elsevier, 2007.

HYDRAFORM, Revista Cemento.

Gemma Solanilla, Clara Pardo, Anna Vila, Carol Mejia y Raúl Jorquera "*Proyecto de construcción de módulos anexas a viviendas en Jujuy*", Jujuy, Argentina.

C. E. Alderete, L. E. Arias, R. F. Mellace, S. M. Latina, M. E. Sosa y I. C. Ferreyra, Mampostería con Tierra Estabilizada Comprimida, Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad Nacional de Tucumán.

G. E. Choque Ruelas y J. Huaman Meza, Adobes Comprimidos Suelo-Cemento Una Alternativa Ecológica, ICG.

C. Apablaza, "*Estudio de análisis de los bloques de tierra comprimida, BTC*", Temuco, Chile: Universidad de La Frontera, 2012.

- O. Vilugron, "*Bioconstrucción: ladrillos ecologicos como alternativa*" Obras y Protagonistas, vol. XXIII, N° Nro.226, Agosto, 2014.
- J. E. Sequeira, "*Temas sobre materiales de construcción*", Ciudad de la Habana, Cuba: Pueblo y Educación, 1976.
- E. R. Lopez, "*Durabilidad y patología del concreto*", Lima: ICG, 2006.
- E. García Romero y M. Suárez Barrios, «*Las Arcillas: Propiedades y Usos*» [En línea]. Available:<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>.
- «*ARQHYS Arquitectura y Decoración*» [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html/>.
- Universidad Católica del Norte - Chile, «*Laboratorio Mecánica de Suelos, "Limos"*» [En línea]. Available:<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/tiposM2.htm>
- 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.
- 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.
- G. E. U., Estabilizantes para los Adobes, Medellín, Colombia.
- G. Minke, Manual de construcción en tierra, Alemania: Fin de Siglo, 2005.
- Universidad Central de Venezuela, Diseño y Construcción de un Muro Confinado de Bloques Aligerados de Suelo Cemento.

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.

Universidad de Granada, "*Morteros de Construcción y Ornamentación*" [En línea]. Available: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>.

E. L. Salamanqués, "*Guía para Morteros con Cal*", España: AIDICO, ANCADE.

American Concret Institute, "*ASTM C270: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*", EEUU, 2014.

Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola, «*Morteros*,» Ciudad Real, Universidad de Castilla-La Mancha.

R. Convit, «*Arquitectura Popular*» [En línea]. Available: <http://convit.blogspot.com/2006/06/dosificacin-en-la-mezcla-tierra.html>.

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.

J. Seisdedos, «*BTC-Bloques de tierra comprimida*» de "*Unidad de producción de materiales de bioconstrucción*", Madrid (España), Ayuntamiento Berzosa del Lozoya: 18, 2009.

Estévez Cullell "*Diseño estadístico de experimentos*", 2004.

Hernández, Fernández & Baptista, "*Metodología de investigación*" (sexta edición) 2014.

ANEXOS

Anexo 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

