

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

Tesis previa a la obtención del grado de Arquitecto

“ESTUDIO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO ADOBE”

AUTORES:

DANIEL SEBASTIÁN GUZMÁN FREIRE
JORGE MATEO IÑIGUEZ TINOCO

DIRECTOR:

ARQ. WILSON MARCELO VÁZQUEZ SOLÓRZANO

Cuenca - Ecuador
2015



Resumen

El sistema constructivo en adobe ha sido utilizado por distintas culturas a lo largo de la historia, en el caso de Ecuador y más concretamente la región del austro los pueblos pre-hispánicos empleaban la tierra(adobe y bahareque) como material predominante para la construcción de sus viviendas, sin embargo, en la actualidad estas prácticas constructivas tradicionales han caído en desuso debido a la introducción de nuevas técnicas que han provocado una sub-valoración y desprestigio de estos sistemas.

A partir de esta problemática surge el interés por revalorizar el sistema constructivo con adobe debido a sus ventajas como sistema constructivo, además la tierra -insumo principal para la elaboración de los bloques- es de fácil obtención y no necesita de mano de obra especializada para su extracción.

Se utiliza el prensado hidráulico para lograr piezas de tierra cruda que mejoren las características mecánicas del material. Para su estabilización se experimenta con fibras vegetales alternativas a las que se vienen utilizando.

Adicionalmente, la investigación experimenta con estabilizantes que cumplen características ecológicas y de menor impacto ambiental en su obtención. Para la elección del estabilizante óptimo se utiliza una matriz basada en parámetros ponderados que den como resultado el que mejor cumpla con los objetivos de la investigación. La producción de los bloques experimentales ha sido sometida a estudios físico-mecánicos utilizando normas internacionales de construcción en tierra. Se concluye el estudio con una propuesta arquitectónica que atienda el criterio de sismo-resistencia para las construcciones de adobe.

Palabras Clave: Adobe, estabilización, mejoramiento, construcción en tierra

Abstract

In adobe construction system has been used by different cultures throughout history, in the case of Ecuador and more specifically in the south of this country, pre-Hispanic natives used the land (adobe and "bahareque") as predominant material to build their homes, however, currently these traditional construction practices have fallen into disuse due to the introduction of new techniques that have led to a sub-appreciation and discrediting of these systems.

From this problem arises interest in revaluing construction system with adobe because of its advantages as a constructive system, in addition land - main input for the elaboration of the blocks - is also easy to obtain and does not require specialized extraction for labor.

Hydraulic pressing is used to achieve raw Earth parts that improve the mechanical characteristics of the material. Through tests for its stabilization with vegetable fibers alternatives to those that have been used.

In addition, research experiences with stabilizers that meet ecological characteristics and less environmental impact in production. The choice of the optimal stabilizer using a matrix based on weighted parameters that result which best meets the objectives of the research. The production of experimental blocks has been subjected to studies physical-mechanical using international standards of construction on land. It concludes with an architectural proposal that meets the criterion of quake resistance for adobe buildings.

Key words: adobe, stabilizer, improvement, construction in land



INDICE

CAPITULO 1	15	CAPITULO 3	107
Análisis del sistema constructivo adobe		Propuesta de mejoramiento de elementos constructivos en adobe (bloques)	
1.1 Antecedentes Históricos	17	3.1 Conceptos de mejoramiento	109
1.2 Características del Adobe	21	3.2 Elección de técnica de estabilización para de mejoramiento del adobe	115
1.3 Ensayos	25	3.3 Estudio de Estabilizantes Químicos	121
1.4 Proceso de Producción del Adobe	37	3.4 Matriz para elección de estabilizante	150
1.5 Aplicaciones Contemporáneas en Adobe	41	3.5 Diseño de Mezclas para Adobes Prensados	153
1.6 Sismo-Resistencia en el Adobe	49	3.6 Proceso de Producción de Adobes Prensados	158
1.7 Normativas de Construcción en Tierra	62	3.7 Ensayos de Resistencia	161
1.8 Ventajas y Desventajas del Adobe	68	CAPITULO 4	181
1.9 Conclusiones	71	Propuesta de Anteproyecto con Sistema Constructivo de Adobe	
CAPITULO 2	73	4.1 Elección de bloque de tierra	183
Arquitectura Vernácula En Cuenca		4.2 Diseño de Anteproyecto con Criterios de Sismo-Resistencia	185
2.1 Arquitectura Vernácula En el mundo	75	4.3 Anteproyecto de Vivienda Unifamiliar	193
2.2 Arquitectura Vernácula en Ecuador : Azuay	77	CAPITULO 5	213
2.3 Fabricación de Adobe en Azuay	82	Conclusiones y recomendaciones	
2.5 Estudio de Casos Ejemplares	88	APENDICES	217
2.6 Conclusiones	105	ANEXOS	225
		BIBLIOGRAFÍA	231



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Jorge Mateo Iñiguez Tinoco, autor de la tesis "Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de arquitecta. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, septiembre de 2015

Jorge Mateo Iñiguez Tinoco

C.I: 0104974043



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Daniel Sebastián Guzmán Freire, autor de la tesis "Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de arquitecta. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, septiembre de 2015

Daniel Sebastián Guzmán Freire

C.I: 0104549621



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Jorge Mateo Iñiguez Tinoco, autor de la tesis "Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, septiembre de 2015

Jorge Mateo Iñiguez Tinoco

C.I: 0104974043



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Daniel Sebastián Guzmán Freire, autor de la tesis "Estudio de una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo adobe", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, septiembre de 2015

Daniel Sebastián Guzmán Freire

C.I: 0104549621



Agradecimientos

Arq. Marcelo Vázquez

Arq. Rodrigo montero

Arq. Edison Castillo

Arq. Patricio Encalada

Arq. Ivan Quizhpe

Eco. Manuel Lituma

Felipe Jaramillo

Flia. Bravo Iñiguez

Ing. Belen Zea

Luis Rumipulla

Ricardo Merchan

Manuel Livicura



Dedicatoria de Daniel Sebastián Guzmán Freire

Este trabajo esta dedicado a mi familia y amigos, gracias por todo su apoyo.

Dedicatoria de Jorge Mateo Iñiguez Tinoco

Este trabajo de tesis lo dedico a mis padres, a mi hermano, a mi familia y a mis amigos; por su apoyo y consejos brindados.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar una propuesta de mejoramiento del sistema constructivo en adobe, aplicable a una vivienda en la ciudad de Cuenca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Proponer una nueva combinación de materiales alternativos a los materiales usados en la fabricación del adobe tradicional; buscando mejorar las propiedades técnicas y mecánicas de los bloques de adobe.
- 2- Aplicar la técnica del adobe prensado (prensa hidráulica), en la conformación de los adobes propuestos.
- 3- Realizar un análisis comparativo de las propiedades técnicas y mecánicas entre el adobe tradicional de la ciudad de Cuenca, y la propuesta de adobe mejorado.
- 4- Desarrollar una solución constructiva (detalles constructivos) para una vivienda; en la que se pueda aprovechar la propuesta de mejoramiento trabajada.



Introducción

La presente investigación desarrolla una propuesta de mejoramiento de los bloques de adobe. Se da esta denominación a los mampuestos de tierra sin cocer que pueden contener una fibra vegetal u otros materiales para optimizar sus propiedades técnicas.

El sistema constructivo en adobe ha sido utilizado por distintas culturas a lo largo de la historia, en el caso de Ecuador y más concretamente la región del austro los pueblos pre-hispánicos empleaban la tierra(adobe y bahareque) como material predominante para la construcción de sus viviendas, sin embargo en la actualidad estas prácticas constructivas tradicionales han caído en desuso debido a la introducción de nuevas técnicas de construcción que han provocado una sub-valoración y desprestigio de estos sistemas.

A partir de esta problemática surge el interés por revalorizar el sistema constructivo con adobe debido a sus ventajas como sistema constructivo, además la tierra -insumo principal para la elaboración de los bloques- es de fácil obtención y no necesita de mano de obra especializada para su extracción.

Con el fin de desarrollar una propuesta de mejoramiento se parte del estudio del sistema constructivo en adobe, sus características, composición de la tierra para su elaboración y la investigación de normativas de construcción en tierra que permitan generar un marco teórico. Para complementar esta investigación se realiza un estudio práctico donde se emplean tres técnicas: documentación del proceso de elaboración de bloques de adobe, el estudio de casos descriptivos de viviendas que utilicen el adobe como sistema constructivo, la observación de ambos procesos.

Se realiza un estudio de los métodos de mejoramiento del bloque de adobe, empleando tres métodos de estabilización. Primero la estabilización física donde se realiza un correcto diseño de mezclas para el barro con el fin de tener una composición granulométrica óptima; la estabilización mecánica en la cual se somete al bloque de adobe a una prensa hidráulica; y finalmente la estabilización química donde para empezar se realiza el estudio de estabilizantes que modifiquen las propiedades del suelo, posteriormente se realiza la elección

del compuesto óptimo para la estabilización química mediante una matriz capaz de calificarla en cuatro aspectos: impacto ambiental, materiales reciclados, economía y mejora técnica.

Después de elegir el o los métodos más adecuados para realizar los adobes se procede a la producción de los mismos. Posterior a esto se somete las piezas a diferentes ensayos normados con el fin de conocer las características técnicas donde se obtendrán resultados que permitan la comparación con los adobes tradicionales para así identificar el mejoramiento de la pieza.

Con la certeza de haber elaborado una propuesta de mejoramiento del bloque de adobe que cumpla con los criterios establecidos en las normativas de construcción en tierra, se desarrolla una propuesta de vivienda con criterios de sismo-resistencia, con la finalidad de mostrar su aplicabilidad y revalorizar el uso del sistema constructivo en adobe.



CAPITULO 1

**Análisis del sistema constructivo
adobe**



1.1 Antecedentes Históricos

1.1 Antecedentes Históricos

Los sistemas constructivos en tierra han sido empleados considerablemente desde épocas inmemoriales alrededor del planeta, según Minke(2001) *“en casi todos los climas cálidos-secos y templados del mundo, la tierra ha sido un material de construcción predominante.”* En la historia humana abundaron construcciones en tierra icónicas desde Asia, África y Europa – donde existieron culturas como la egipcia – o en América, tanto en el Sur donde prosperaron estas edificaciones (ciudad Chan Chan, Trujillo) como en el Norte donde comunidades indias construían en adobe; así las personas han elegido la tierra para erigir sus edificios, siendo este material de construcción natural el más popular para la construcción alrededor del mundo (Oshiro, s.f.).(fig 1,2)

De la población mundial se estima que un 30% aún vive en construcciones de tierra, Houben y Guillard(1994) exponen que *“El uso de unidades de barro secadas al sol data desde 8000. a.C.”* En Turquestán Rusia existen edificaciones de adobe que datan del 9000 a. C., así como en Egipto existen estructuras monumentales que tienen una edad de 3200 años. (Minke, 2001). En América existen grandes ejemplos de construcciones monumentales en tierra, las ruinas de Chan Chan, sitios arqueológicos como Zethé y Sabina Grande muestran la jerarquía de las edificaciones en tierra. Si bien su construcción tanto espacial como cronológicamente es muy diferenciada resulta considerable el número de similitudes en cuanto a sus características (Gama-Castro, et al., 2012); lo que indica la tradición que existe en estos países por la construcción en tierra. (fig 3), sin embargo, actualmente se considera que el uso de la tierra para la construcción de viviendas significa un retraso cultural, debido al desprestigio presente en este tipo de construcciones, llegándose a catalogar como edificaciones de mala calidad.

Estos problemas tienen su génesis en el inadecuado manejo del sistema constructivo el cual se ha ido perdiendo a lo largo del tiempo por la falta de destreza constructiva para realizarla, la misma que permanecía viva gracias a la transferencia de conocimientos constructivos como una tradición histórica en las culturas (Viqueira, 2001).



fig. 1 - Edificios de Tierra, Shibham, Yemen.



fig. 2 - Ciudad Chan Chan, Trujillo



fig. 3 - Viviendas tradicionales de tierra de los Indios Pueblos Taos, Nuevo Mexico, Estados Unidos.



En este punto encontramos diferentes teorías ya que si bien Viqueira(2001) sostiene que *“si la arquitectura de tierra se diseña y construye de manera adecuada y se le proporciona el mantenimiento periódico que requiere, resulta tan estable y duradera como la construida con el resto de los materiales y sistemas constructivos.”*, otros autores (M. Blondet, 2011) mencionan que a lo largo de la historia se tuvo la creencia de que la arquitectura en barro es sismo-resistente lo cual es un concepto erróneo. Muchos países donde existe gran tradición en el uso de la tierra como material de construcción (referidos anteriormente) se encuentran localizados en áreas de gran riesgo sísmico (fig 4, fig. 5), sin embargo, el rendimiento sismo resistente de la construcción tradicional en tierra en estos países es muy pobre. Por lo antes expuesto se ha creído conveniente diferenciar la “correcta construcción en tierra” con la “construcción en tierra sismo resistente” la no diferenciación de las mismas pueden crear contradicciones; las edificaciones tradicionales hechas con este material constan de una baja resistencia ante los sismos, ya que fueron concebidas para soportar cargas verticales y cargas de servicio, sin incluir los efectos que se pueden tener cuando existe un sismo (Rivera ,2012) y esto a menudo suele confundirse con arquitectura de mala calidad por no haberse construido con criterios de sismo-resistencia.

Revalorización de la Arquitectura en Tierra

Han existido arquitectos que han iniciado la recuperación de la arquitectura tradicional desde los años 50 – específicamente en adobe – aunque se ha suscitado un especial interés en rescatar esta arquitectura en las 3 últimas décadas, buscando opciones ecológicas para enfrentar la crisis energética que tuvo lugar en el año 1973. (Viqueira, 2001)

En lo que respecta a la arquitectura actualmente la construcción es responsable del 36% del uso total de la energía, 65% del consumo de electricidad, 30% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero, 30% del uso de materias primas, 30% de los residuos que van a vertedero y un 12% del uso de agua potable (Madero & Martín, 2013), problema que llevó al campo de la construcción a buscar opciones viables para reducir el consumo desmedido y el impacto

ambiental derivado de la explotación de este combustible fósil (Libro Verde,2012), instituyendo de esta manera también una conciencia ambiental donde se promueve el uso de materiales de bajo consumo energético.

Viqueira (2001), expresa sobre la construcción en tierra *“Otro aspecto fundamental en la relación entre la arquitectura de tierra y la ecología, es su permanencia durante siglos como mecanismo de adaptación equilibrada entre el hombre y su ambiente circundante. Desde tiempo inmemorial los edificios de barro han acompañado al desarrollo de la civilización.”*



fig. 4 - Mapa de Construcciones en tierra alrededor del Mundo

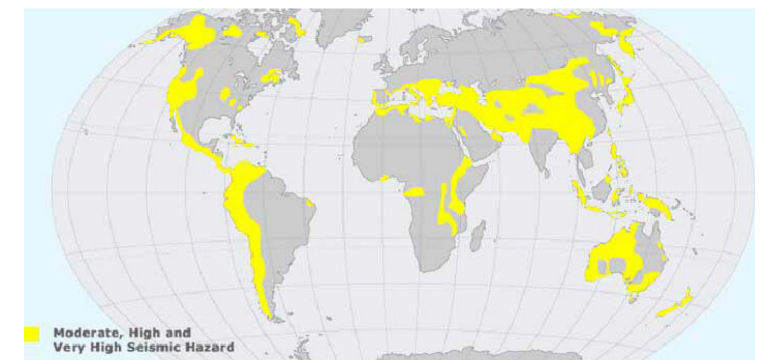


fig. 5 - Mapa de riesgo sísmico moderado alrededor del Mundo

Gracias a esta búsqueda de soluciones “ecológicas” se revalorizó en cierta medida la construcción en tierra lo que llevo a un perfeccionamiento de la técnica constructiva ya que como menciona Bestraten Castells & Hormias Laperal (2011), *“La actualización de las construcciones de adobe, desde una perspectiva técnica, ha consistido en primer lugar en conseguir una mejora de la estabilidad de los edificios frente a los esfuerzos horizontales en áreas de riesgo sísmico”*.

En nuestro país (Ecuador) y los países que lo limitan (Perú y Colombia) la Arquitectura Vernácula¹ se caracteriza por el uso de la construcción en tierra – especialmente en la región andina – en donde el adobe y bahareque se ha utilizado desde la época pre-hispánica pasando por la época colonial, la republicana y hasta la actualidad (Yepez, 2012). En la época colonial (1540-1821) los españoles construyeron importantes obras arquitectónicas con mampostería de adobe, tapial y quincha, algunas permanecen hasta la actualidad.(fig. 6, fig. 7) (M. Blondet, 2011).

Al tener en cuenta dichas connotaciones que dieron motivo a una revalorización de la arquitectura en tierra se debe tomar esta como una oportunidad para dar a conocer las técnicas de construcción en tierra que por su desprestigio ha sido poco valorada siendo nuestro deber llevarla al lugar que pertenece.

“El arquitecto debe respetar la obra de sus predecesores y la sensibilidad pública, no utilizando sus obras como medio de publicidad personal. De hecho ningún arquitecto puede evitar el uso de las obras de los arquitectos que le precedieron; por más que se esfuerce en ser original, la mayor parte de su obra estará en una tradición u otra. ¿Por qué, entonces, despreciar la tradición de su propio país o distrito? ¿Por qué introducir tradiciones ajenas en una síntesis artificial?” (Fathy, 1975)



fig. 6 - Casa de las posadas, Cuenca , Ecuador



fig. 7 - Casa de las Posadas interior, Cuenca, Ecuador

1. Según la carta del Patrimonio Vernáculo Construido(México) la construcción vernácula *“constituye el modo natural y tradicional en que las comunidades han producido su propio hábitat. Forma parte de un proceso continuo, que incluye cambios necesarios y una continua adaptación como respuesta a los requerimientos sociales y ambientales.”*



1.2 Características del Adobe

1.2 Características del Adobe

“La tierra como material constructivo tiene su origen en el descubrimiento que al humedecerse, la tierra que contiene arcilla es plástica y fácil de moldear. Luego al secarse se endurece y puede alcanzar una resistencia importante a la compresión.” (Blondet & Villa Garcia, 2004). De igual forma Minke (2001) menciona que “Los bloques de barro² producidos a mano rellenándolo en moldes y secados al aire libre se lo denominan adobe”, partiendo de estas definiciones básicas sobre el significado de la pieza que constituye el sistema constructivo del adobe podemos estudiar las características de este elemento para posteriormente dar un enfoque más holístico y hacer un análisis no solo de la pieza sino del Sistema Constructivo.(fig. 8, fig. 9)

Para la fabricación del adobe se puede usar una amplia variedad de tierras, algunos autores (Minke,2001; Saroza, et al.,2008) coinciden en que su uso depende del adecuado contenido de arcilla, limo o arena de la tierra más las fibras orgánicas. Generalmente se usa el material del mismo sector donde se realiza la construcción, producto de excavaciones de los trabajos anteriores.

Se debe tomar en cuenta que para tener un adobe con una cohesión³ necesaria, la tierra con su relación arcilla-arena es de gran importancia, para esta relación existen diferentes criterios al momento de formular una dosificación adecuada. En Perú se usan suelos que contienen entre 55 a 75% de arena y 25 a 45% de arcilla (Saroza, et al., 2008). Otros autores han sugerido contenidos del 30% de arcilla sin mencionar nada sobre el contenido de arena (Duncan et al. Ctd en Saroza, et al., 2008). La fibra orgánica es de gran importancia también Saroza,et al(2008) señala que “...limita las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado, es decir, evita que el bloque se fisure en exceso durante esta etapa.”, sin embargo no existe una dosificación de materiales que se pueda considerar como “óptima” ya que esta dependerá del tipo de tierra, contenido de agua, tipo de arcilla(caolinita, montmorilonita, illita).



fig. 8 - Vivienda construida en Adobe , Azuay - Ecuador



fig. 9 - Vivienda Contemporanea en Adobe , Utah - Estados Unidos

2. Masa que resulta de la mezcla de tierra y agua. (DRAE,2012)

3. Según Minke(2001)“La resistencia a la tracción del barro en estado plástico se denomina cohesividad”



La tierra

Al ser el adobe un material esencialmente de barro se ha creído conveniente estudiar sus componentes, ya que de estos se derivan las características y la calidad del bloque. El barro al no ser un material de construcción estandarizado, es decir, al pertenecer a técnicas de construcción vernáculas, su cantidad y tipos de arcilla, limo, arena y agregados depende del lugar de extracción. Para poder conocer las características del barro es necesario saber su composición y así ser capaces de modificarla con aditivos en el caso que fuera necesario. (Minke, 2001)

Minke(2001) en su libro "Manual de Construcción en Tierra" menciona las características básicas del barro, las cuáles enumeraremos a continuación:

Se contrae al secarse

No es impermeable

Regula la humedad ambiental

Almacena calor

Ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental

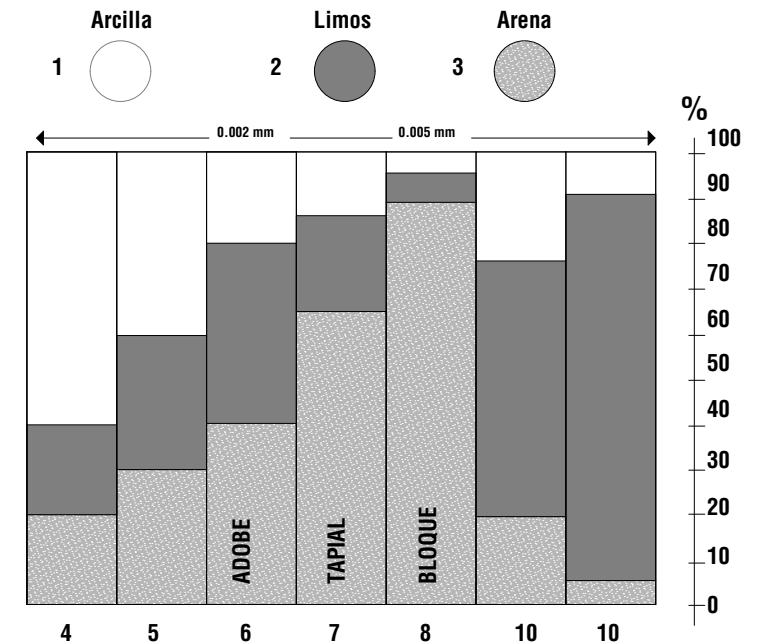
Es reutilizable

Economiza materiales de construcción y costos de transporte

"La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena, que algunas veces contiene agregados mayores como grava y piedras." (Minke, 2001). El tipo de material se define por el diámetro de las partículas clasificándose de la siguiente manera: Partículas con diámetros inferiores a 0.002mm se las clasifica como arcilla, de 0.002mm a 0.006mm se lo denomina limo y de 0.006 y 2mm arena. Si el diámetro es mayor a los estipulados se los cataloga como piedras y gravas(Minke, 2001). En la tabla 1 se muestra una curva granulométrica con 3 tipos de barro(arcilloso, limoso y arenoso). Las arcillas son el componente que da cohesión uniendo a los suelos más gruesos; los limos son agregados

sin fuerza aglutinante y con una resistencia a la fricción menor que las arenas pero en presencia de agua su cohesión aumenta (Peña, 1995).

A continuación se muestra un diagrama con las cantidades necesarias de arcillas, limos y arena para realizar adobe.(diag. 1)



diag. 1 - Composición necesaria de Tierra para elaboración de Adobe, Tapial y Bloque

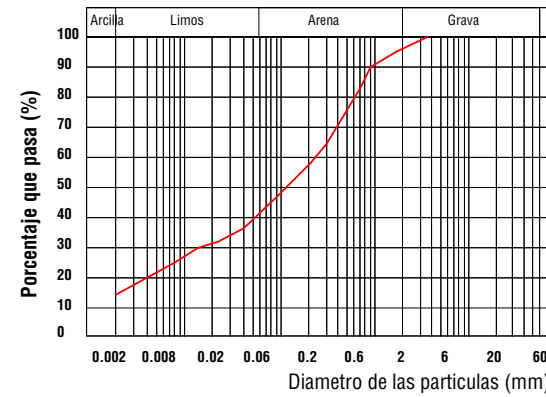
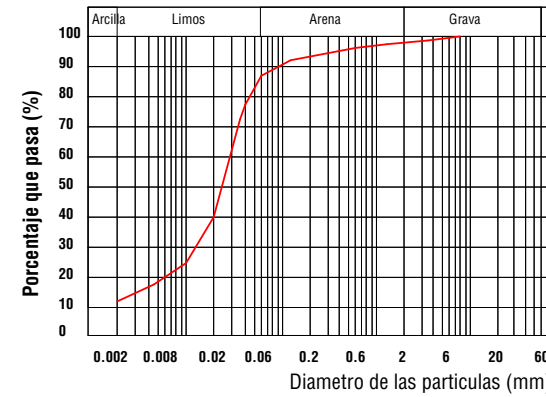
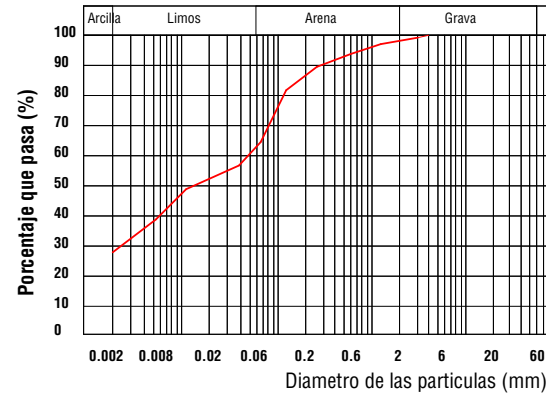


Tabla 1 - Curva granulometrica con 3 tipos de barros diferentes, arcilloso(arriba), limoso(centro), y uno arenoso(abajo)(Alemania)

Los datos mostrados en ésta curva granulométrica fueron obtenidos del libro "Manual de Construcción de Tierra" (Minke 2001), los ensayos para la obtención de los mismos se hicieron con suelos de una región alemana.



1.3 Ensayos

1.3 Ensayos

Para analizar la composición de la tierra se describirán ensayos estandarizados de laboratorio y ensayos de campo simples. El problema con los ensayos de campo radica en la inexactitud y subjetividad para calificar los resultados obtenidos; pero a su vez tienen la ventaja de ser realizables en el sitio de construcción en corto tiempo y suelen ser suficientes para estimar la composición del barro (Minke, 2001). A continuación se presenta una tabla desarrollada por Rigassi(2004) donde se clasifica los ensayos de laboratorio y su equivalencia con los ensayos de campo.

Propiedad	Análisis de Laboratorio	Prueba de Campo
Propiedades Químicas		
Sales, óxidos, sulfatos, etc	Ensayos Químicos	Aspecto(color, olor, sabor, tacto)
Propiedades Físicas		
Granulometría	Ensayo Granulométrico	Prueba de rollo o la cinta
	Ensayo Sedimentométrico	Prueba de la botella
Plasticidad	Límite de Atterberg	Prueba de la pastilla
Compresibilidad/Compactación	Ensayo Proctor	Prueba de la Bola

Tabla 2 - Ensayos de Laboratorio Equivalencia con Ensayos de Campo.

En pos de conocer los métodos más adecuados de ensayar la tierra para conocer su composición, se enumerarán y describirán los ensayos de campo comunes, los mismos que están mencionados en el libro “Manual de Construcción en tierra” (Minke, 2001).

Los ensayos o pruebas realizadas se desarrollan con dos muestras de tierra que fueron empleadas en la elaboración de adobes tradicionales. La primera muestra fue obtenida del Cantón Girón lugar donde se realizará la documentación y elaboración del adobe tradicional con métodos empíricos. La segunda muestra fue obtenida de la parroquia de Baños, esta tierra se utilizará para la elaboración de adobes estabilizados.

1.3.1 Ensayos de campo

Ensayo de lavado

Se debe frotar entre las manos una muestra de barro para identificar la consistencia de sus partículas, si se sienten claramente, esto indica un barro de composición arenosa o gravosa. Si la muestra al momento de manejarla es pegajosa pero al frotarse las manos es posible la limpieza, esto es indicativo

de un barro con composición rica en limos. Finalmente si al tener una muestra pegajosa y no existe posibilidad de conseguir la limpieza de las manos sin el uso del agua, esta muestra contiene una considerable cantidad de arcilla. Si bien los ensayos de campo se presuponen como pruebas de carácter subjetivo, esta prueba presenta mayor cantidad de dificultades siendo difícil sacar conclusiones útiles si es que no se tiene una experiencia previa.

Tierra de Baños

Al unir la mezcla con agua y manipularla en las manos no se podían sentir claramente las partículas, se volvió pegajosa y al frotarse en las manos se volvió complejo limpiar la materia sin agua, esto es indicativo de una muestra con un contenido significativo de arcilla (fig. 10).

Tierra de Girón

Al mezclar la muestra con agua y manipularla en las manos se sintieron partículas, sin embargo la limpieza resultó menos compleja que la realizada con la muestra del sector Baños. Así mismo con las comprobaciones visuales se identificó un color de tierra más oscuro, con lo que se puede intuir que esta muestra contiene más arena. (fig.11).



fig. 10 - Ensayo de lavado, Baños.



fig. 11 - Ensayo de lavado, Girón.

Ensayo de sedimentación

Esta prueba consiste en colocar agua y una muestra de barro en un frasco de cristal, para realizarla debemos agitar la mezcla en donde “las partículas mayores se asientan primero en el fondo y las más finas arriba” Observando esta estratificación⁴ de la muestra estaremos en la capacidad de estimar la composición de la misma, sin embargo, Minke(2001) menciona que *“es una interpretación errónea asumir que la medida de cada capa corresponde a la proporción de arcilla, limo y grava”*. De esta manera podemos definir de forma aproximada la granulometría de la tierra(arena, arcillas y limos).

Mediante el asentamiento de las partículas podemos conocer el grado de sedimentación y así conocer la cantidad de arcilla, limo y arena presente en la muestra.

Tierra de Baños

Al sacudir la mezcla y dejarla reposar, podemos observar gran cantidad de arcilla precipitada en la superficie (fig. 12).

Tierra de Girón

En esta muestra se observa una mayor cantidad de partículas gruesas asentadas

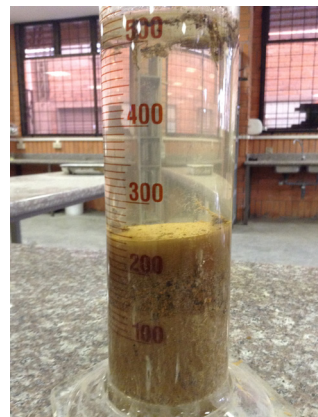


fig. 12 - Ensayo de sedimentación, Baños.



fig. 13 - Ensayo de sedimentación, Giron.

- en comparación con el ensayo de la muestra del sector de Baños - que indica un mayor contenido de arena en la muestra (fig 13).

Ensayo de caída de bola

Al revisar este ensayo, si bien no existe información que lo indique como el más importante, se puede suponer como uno de los más empleados, ya que algunos autores (Minke, 2001; Oshiro, s.f.; Saroza, et al., 2008) coinciden en su uso al momento de conocer las características de la tierra.

Para este ensayo la mezcla debe contener suficiente humedad para poder moldear una bola de 4 cm de diámetro. Se debe dejar caer la bola sobre una superficie plana desde una altura de 1.5m(fig. 14,15); si la bola se aplana de manera leve y muestra pocas fisuras, es decir, su consistencia se mantiene lo más compacta y con la menor cantidad de cambios posible, esta mezcla tiene una alta capacidad aglutinante⁵. Si la muestra al caer se descompone pero mantiene aún la consistencia, se considera en su composición una pobre capacidad aglutinante y suele ser empleada para adobes o tierra apisonada (tapial). Si la mezcla se descompone en su totalidad significa que esta tiene una capacidad aglutinante insuficiente(bajo contenido de arcilla) y no puede ser utilizada como material de construcción

Tierra de Baños

Al dejar caer la bola observamos que sufre un aplastamiento considerable, su consistencia es compacta y no muestra fisuras, por lo tanto se deduce que esta tierra posee una alta capacidad aglutinante y plasticidad (fig. 16). Esta tierra al tener un alto contenido de arcilla es útil para la elaboración de tapial.

Tierra de Girón

Al dejar caer se observó un aplastamiento similar al obtenido con la muestra de Baños, sin embargo, presenta micro-fisuras que indican una muestra con un mayor contenido de arena (fig. 17). Esta muestra al contener un mayor contenido de arena puede emplearse en la elaboración de adobe.

4. Disposición de las capas o estratos de un terreno, (DRAE,2012)

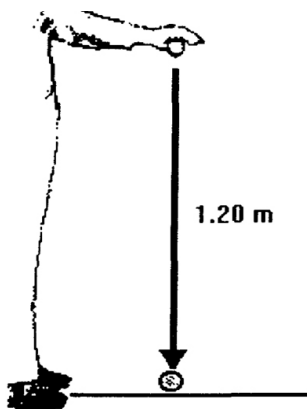


fig.14 - Ensayo Caída de Bola



fig. 15 - Ensayo Caída de Bola

Finalmente otra posibilidad radica en la capacidad de la muestra de deshacerse entre los dedos pulgar e índice aplicando fuerza, si esto pasa pues se deduce un alto contenido de arena y un bajo contenido arcilloso.

Tierra de Baños

Al formar el rollo con las manos se puede alcanzar con facilidad un diámetro de 3mm, obteniendo como resultado que la tierra posee alto contenido de arcilla. (fig. 18)

Tierra de Girón

Esta muestra no alcanza con facilidad un diámetro de 3mm, obteniendo como resultado que la tierra es tipo arcillosa, con un contenido considerable de arena (fig. 19).



fig. 16 - Ensayo de caída de bola, Baños.



fig. 17 - Ensayo de caída de bola, Giron.



fig. 18 - Ensayo consistencia, Baños.



fig. 19 - Ensayo consistencia, Baños.

Ensayo de Consistencia

Se debe formar una bola de 2 a 3cm de diámetro con tierra humedecida, posteriormente se manipula la muestra para hacer un rollo de 3mm de diámetro. "Si el rollo se parte o desarrolla grandes fisuras antes de alcanzar 3mm de diámetro la mezcla deberá se humedecida gradualmente hasta que el rollo se parta solamente cuando haya alcanzado un diámetro de 3mm." (Minke, 2001). Posterior a esto se debe formar una bola nuevamente, si no es posible realizarlo se deduce que el contenido de arena es alto y el de arcilla bajo. Si se deshace fácilmente el barro contiene poca arcilla.

5. Se definirá a un suelo con capacidad aglutinante alta, al que contenga compuestos arcillosos ricos en minerales pertenecientes a la familia de la montmorilonita.

1.3.2 Ensayos de Laboratorio

Granulometría

“Los suelos son por definición el material que se localiza en las capas superficiales de la corteza terrestre...” (Peña de la, 1995). Se considera necesario conocer la proporción de los componentes de la tierra para saber a que capa pertenecen, se compone de arcilla, limos, arena y agregados (grava o partículas superiores a 2 mm de diámetro); si conocemos su composición exacta podremos actuar y estabilizar el material y así poder emplearlo en la construcción.

El análisis granulométrico se realiza mediante el tamizaje y está basado en la norma ASTM D-422 para agregados finos, donde se agrupa por rango de tamaño las partículas que existen en la tierra. Siavichay & Narváez, (2012) en su tesis de pre-grado mencionan que la cantidad de la muestra de tierra para el ensayo granulométrico depende del tipo de suelo (tabla 3). Esta clasificación se basa en la norma antes mencionada.

Tipo de Suelo	Cantidad de Muestra
Suelo de Grano fino	100 - 200 grs
Suelo Arenoso	200 - 500 grs
Suelo Gravoso	1 - 3kgs

Tabla 3. Tipos de suelo



fig. 20 - Tierra lavada y secada



fig. 21 - Juego de Tamices

Herramientas y materiales (fig. 20, 21)

- Muestra de tierra (200gr)
- Balanza digital
- Tamices de malla cuadrada N 4 hasta el N 200
- Cocina
- Bandeja metálica
- Cepillo para limpiar tamices

Proceso:

- Se toma una muestra de tierra, su peso depende de su granulometría. En este caso se ha empleado 300 gr
- Se realiza un proceso de secado de la muestra. Posteriormente se la vuelve a pesar con el fin de conocer su porcentaje de humedad
- Se somete la muestra a lavados sucesivos hasta tener una agua limpia de esta manera eliminando los limos y las arcillas
- Se pesa la muestra
- Se somete la muestra a la tamizadora por 10 min
- Se pesa el restante de muestra de cada tamiz
- Finalmente se realiza una tabla de calculo empleando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{(\text{Peso retenido en el tamiz})}{(\text{Peso total})}$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Límite Líquido

Define el contenido de agua presente en el barro, entre el estado líquido y el plástico, estos rangos son conocidos como límites de Atterberg (ASTM D - 4318).

Herramientas y materiales:

- Muestra de tierra (300gr) pasada por el tamiz N40
- Agua
- Cuchara de Casagrande
- Balanza mecánica
- Espátula
- Probeta
- Contenedores de humedad
- Recipiente metálico
- Horno

Proceso

- Se somete una muestra de 200gr de tierra seca pasada por el tamiz N. 40.
- Se agrega agua destilada a la muestra hasta tener una masa moldeable
- Colocamos la mezcla en la Cuchara de Casagrande
- Se hace una ranura con la espátula casa grande
- Se somete a un proceso de golpes sucesivos a la muestra hasta que la ranura se cierre a una dimensión de 13mm.
- Anotar el número de golpes necesarios para llegar a la dimensión de 13mm de la ranura y extraer la muestra usada.
- Se procede a secar la muestra húmeda colocándola en un horno y se espera 24 horas.
- Se vuelve a pesar la muestra seca.
- Se repite el proceso de someter una muestra a golpes sucesivos con diferentes cantidades de agua, con el fin de buscar que la ranura se cierre en un distinto número de golpes y así determinar el límite líquido de la muestra. (fig. 23,24)



fig. 23 - Cuchara de casa grande llena



fig. 24 - Cuchara de casa grande con ranura

Límite Plástico

Para este procedimiento se utiliza el material empleado en el ensayo para el límite líquido. Esta prueba consiste en determinar el límite entre el estado plástico y el semi-sólido.

Herramientas y materiales (fig. 25)

- Una muestra de tierra (200gr)
- Agua
- Balanza mecánica
- Espátula
- Probeta
- Contenedores de humedad
- Recipiente metálico
- Horno



fig. 25 - Ensayo de límite Plástico, instrumentos.

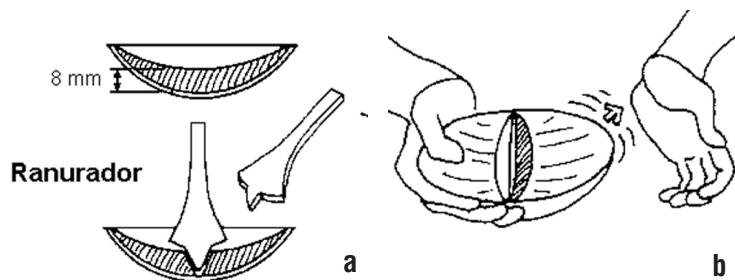


fig. 22 - Ensayo de límite líquido con Cuchara CasaGrande



Proceso

- Se toma una muestra de 200gr de tierra seca
- Se coloca en la bandeja agregándole agua destilada
- Se toma Tomamos aproximadamente 1 cm³
- Se hace rodar la muestra en una superficie plana, hasta alcanzar un diámetro de 3mm, Doblamos y amazamos nuevamente
- Repetir el proceso hasta que la muestra se rompa en 0,5 a 1 cm.
- Se toma una muestra de la misma
- Se pesa la muestra húmeda. Posteriormente se introduce la muestra en un frasco de humedad y se deja secar en un horno
- Se vuelve a pesar la muestra seca

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se calcula con la siguiente formula:

$$IP = LL - LP \text{ (\%)}$$

Donde :

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite Plástico

Ensayo de Contracción Lineal

Se prepara tierra molida y se agrega agua hasta encontrar el límite líquido, posteriormente se coloca sobre un molde lubricado de 2x2x10cm. Al secarse se mide su contracción basandose en la diferencia entre la longitud del molde y la longitud de la pieza seca. Se realiza la experimentación con una mezcla de barro con el único fin de conocer la plasticidad del material ya que al agrietarse se deduce que la muestra posee un alto contenido de arcilla, razón por la cual debería estabilizarse para su uso. Así mismo se emplea una máxima que

menciona que “a menor contracción existe mayor plasticidad”.

Si bien este ensayo se realiza mediante el uso de moldes estandarizados y se prepara la mezcla moliendo la tierra, no es un método exacto para definir la granulometría (arcillas, limos y arena) de una muestra, sin embargo, nos sirve para obtener datos aproximados (Peña, 1995) (fig. 26).

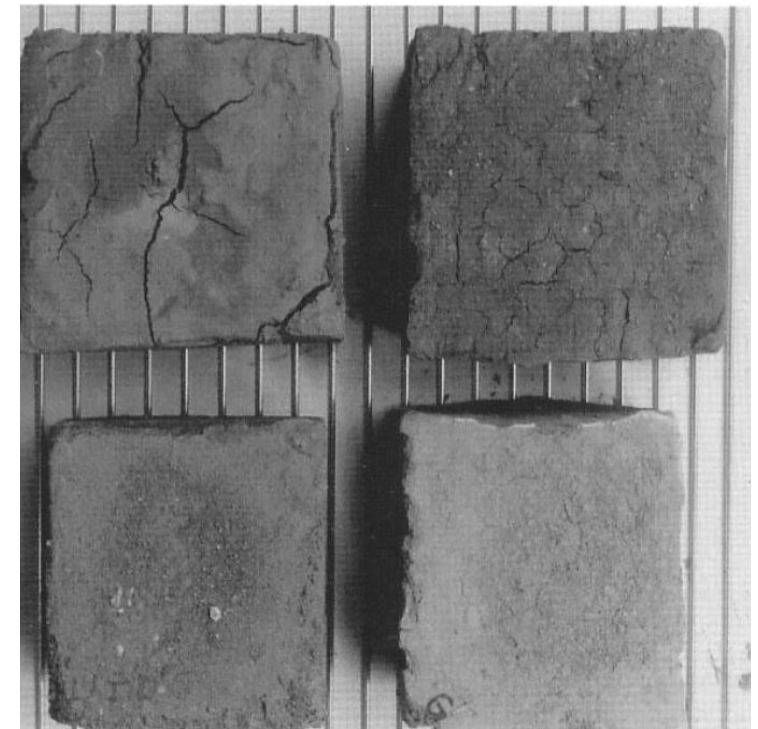


fig. 26 - Ensayo de Contracción Lineal

Tierra de Baños

Después de un período de 15 días de secado se procedió a desmoldar las probetas, se observó fisuras en las piezas, así mismo su retracción fue menor a 3 mm. (fig. 27)

Tierra de Girón

Al desmoldar las piezas en un mismo período de secado, se observó una pieza lisa con pequeñas micro-fisuras, y una retracción de aproximadamente 2mm. (fig. 28)



fig. 27 - Ensayo Contracción lineal - Baños.



fig. 28 - Ensayo retracción lineal - Baños.

Ensayo de Compactación

Se denomina compactación de suelos, al proceso mecánico por el cual se intenta mejorar las características de resistencia y comprensibilidad mediante la presión estática o compactación dinámica reduciendo su volumen (Minke, 2001). Esta prueba se puede hacer mediante el Ensayo Proctor, o también se puede usar el siguiente equipo:

- Cilindro "Proctor estándar" (Molde cilíndrico de metal rígido diámetro 101,6mm por 116.4mm de altura)
- Martillo manual, 4.5 Kg.
- Probetas
- Pipetas
- Horno de secado
- Tamiz No. 4.

Proceso

- Se toma una muestra de tierra pasada por el tamiz #4
- Se agrega agua
- En el cilindro Proctor se coloca 5 capas de tierra
- Compactar cada capa con 25 golpes mediante el uso del martillo manual, a una altura de 450 mm
- Desmoldar la tierra del cilindro y tomar una muestra de la mitad del molde
- Pesar la muestra en estado húmedo
- Secar la muestra en horno a una temperatura de 100 ° por un período de 24 horas. Posteriormente se pesa la muestra seca.
- Repetir el proceso un mínimo de 3 veces



fig. 29 - Cilindro Proctor - Pisón.



fig. 30 - Muestra ensayo compactación

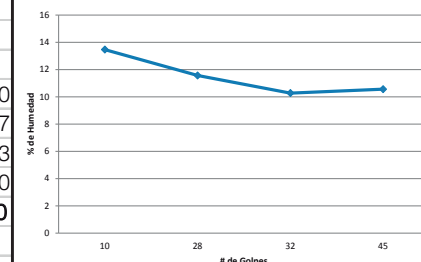


A continuación se presentan los datos recogidos en los ensayos realizados para conocer la composición granulométrica de la tierra, índice de plasticidad y compactación. Se seleccionaron 2 muestras para realizar los ensayos, estas provienen de la parroquia Baños, Cuenca y la segunda del cantón Girón.

UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE ARQUITECTURA						
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE FINOS					Humedad de Suelo	Peso
MUESTRA	300 grs	Sector	Baños	Muestra Natural		500
				Muestra Seca		467.50
Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Que Pasa	% de Humedad	6.95%
N 4	15.50	15.50				
N 8	13.80	29.30				
N 16	19.60	48.90	16.30	83.70		
N 30	25.00	73.90	24.63	75.37		
N 50	22.60	96.50	32.17	67.83		
N 100	16.00	112.50	37.50	62.50		
N 200	3.60	116.10	38.70	61.30		
Pasa N 200	0.40	0.40				
Total	277.84	48.60				

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO						
MUESTRA	Sector		Baños			
N Tarro	N golpes	P Tarro + M Humeda	P Tarro + M Seca	Peso del Tarro	% Humedad	% Promedio
1	45	15.7	14.2	3.1	10.56%	11.47%
2	32	16.1	14.6	3.1	10.27%	
3	28	16.4	14.7	3.1	11.56%	
4	10	17.7	15.6	3.1	13.46%	

ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO						
MUESTRA	Sector		Baños			
N Tarro	P Tarro + M Humeda	P Tarro + M Seca	Peso del Tarro	% Humedad	% Promedio	
1	54.9	53.4	51.2	2.81%	2.65%	
2	53.8	52.5	51.2	2.48%		
3	54.1	52.7	51.2	2.66%		



IP = LL - LP (%)	IP= 8.86
IP = 11.47 - 2.65	
% Arena	38.7 %
% Arcilla	61.3 %
IP = Índice de plasticidad	
LL = Limite líquido	
LP = Limite Plástico	

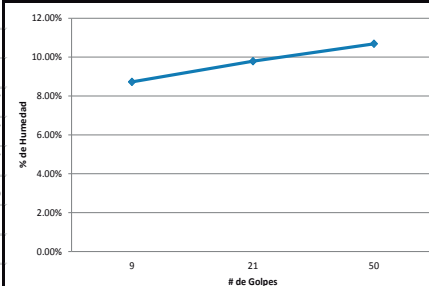
Tabla 4. Resultados de Ensayos de Laboratorio - Muestra de Baños.



UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE ARQUITECTURA						
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE FINOS					Humedad de Suelo	Peso
MUESTRA	425.7	Sector	Girón		Muestra Natural	500
					Muestra Seca	425.40
Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Que Pasa	% de Humedad	15.94%
N 4	38.60	38.60				
N 8	18.50	57.10				
N 16	22.50	79.60	26.53	73.47		
N 30	24.00	103.60	34.53	65.47		
N 50	39.00	142.60	47.53	52.47		
N 100	36.50	179.10	59.7	40.3		
N 200	18.00	197.10	46.33	53.67		
Pasa N 200	18.00	18.00				
Total	215.10	82.50				

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO						
MUESTRA		Sector	Girón			
N Tarro	N golpes	P Tarro + M Humeda	P Tarro + M Seca	Peso del Tarro	% Humedad	% Promedio
1	50	62.3	57.3	51.2	8.73%	9.73%
2	21	57.2	52.1	51.2	9.79%	
3	9	63.2	57.1	51.2	10.68%	

ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO						
MUESTRA		Sector	Girón			
N Tarro	P Tarro + M Humedad	P Tarro + M Seca	Peso del Tarro	% Humedad	% Promedio	
1	52.9	51.9	51.2	1.93%	2.37%	
2	54.1	52.8	51.2	2.46%		
3	53.1	51.7	51.2	2.71%		



IP = LL -LP (%)	IP= 7.36
IP = 9.73 - 2.37	
% Arena	53.67 %
% Arcilla	46.33 %
IP = Índice de plasticidad	
LL = Limite liquido	
LP = Limite Plastico	

Tabla 5. Resultados de Ensayos de Laboratorio - Muestra de Girón.



ENSAYO DE COMPACTACION - CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-1557						
Ensayo	N°	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO						
Peso de muestra húmeda + molde	Grs.	6155.8	6170.7	6298	6429.5	6000
Peso del molde	Grs.	4475	4475	4475	4475	4475
Peso de la muestra húmeda	Grs.	1680.8	1695.7	1823	1954.5	1525
Volúmen del molde	c.c.	937	937	937	937	937
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.794	1.810	1.946	2.086	1.628
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°	7	12	18	25	33
Peso muestra húmeda + tara	Grs.	168.10	247.10	249.40	166.90	97.35
Peso muestra seca + tara	Grs.	151.60	215.00	210.90	140.10	80.00
Peso del agua	Grs.	16.50	32.10	38.50	26.80	17.35
Peso de la tara	Grs.	0	0	0	0	0
Peso de la muestra seca	Grs.	151.6	215	210.9	140.1	80
Contenido de humedad	%	10.88%	14.93%	18.26%	19.13%	21.69%
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad seca	Gr/c.c.	1.79	1.81	1.94	2.08	1.62

% Humedad	Densidad Seca (Gr/c.c.)
10.88%	1.79
14.93%	1.81
18.26%	1.94
19.13%	2.08
21.69%	1.62

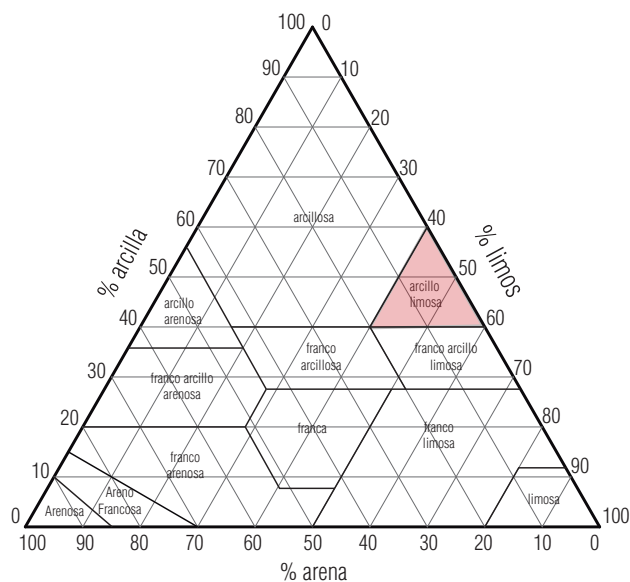
Tabla 6. Ensayo de Compactación - Muestra de Baños.

1.3.4 Análisis de Resultados

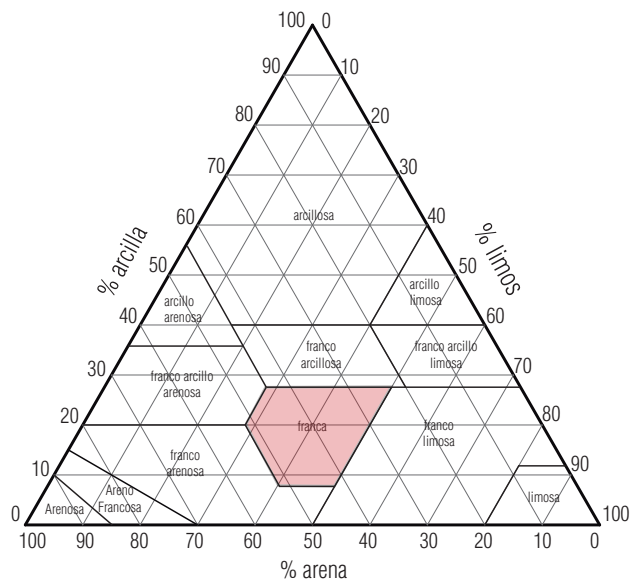
Al elaborar el ensayo granulométrico se puede determinar la cantidad de arena, limo y arcilla presente en las muestras estudiadas, después de obtener en porcentaje la composición de las mismas se procedió a usar el diagrama unificado para clasificación de los tipos de suelo de la USDA⁶.

En cuanto a los ensayos para determinar el índice de plasticidad, encontramos a las 2 muestras con índices bajos. Según Barrios, et al (1986) *"...será conveniente utilizar suelos con bajo índice de plasticidad debido a que cuanto más alto sea, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa que lo convierte en moldeable y, una vez seco, se tendrán mayores retracciones, por cuanto evaporará también un volumen mayor de agua."*, razón por la cual para la elaboración de adobes con estas muestras en lo posible se debería producir los adobes con un contenido de agua similar al obtenido en el índice de plasticidad, ya que este es bajo.

El ensayo de compactación se realizó únicamente para la muestra de Baños ya que busca encontrar la densidad y humedad óptima de los suelos, que posteriormente servirá para la elaboración de adobes prensados, donde el contenido de agua para la muestra debería ser igual o mayor a la humedad óptima obtenida en el ensayo antes descrito.



diag. 2 - Triángulo para la determinación de la composición de Suelos - Muestra Baños



diag. 3 - Triángulo para la determinación de la composición de Suelos - Muestra Girón

6. Departamento de Agricultura de Estados Unidos (United States Department of Agriculture)



1.4 Proceso de Producción del Adobe

1.4 Proceso de Producción del Adobe

"El sistema constructivo en tierra cruda denominado adobe está formado básicamente por el aparejo de unidades de tierra cruda secadas al sol, mismas que son aglutinadas con barro que hace las veces de mortero de pega. Las unidades básicas de este mampuesto son fabricadas y/o moldeadas en diversos formatos y con variadas composiciones granulométricas." (Rivera Torres & Muñoz Díaz, s.f.).

La construcción en tierra ha tenido pocas modificaciones en cuanto a su método de elaboración a lo largo del tiempo, se indagó en el desarrollo de las técnicas de fabricación de adobe y se ha encontrado que en distintos países se ha conseguido un perfeccionamiento en la dosificación del barro con el fin de conseguir un material de construcción de mayor calidad (India, Perú, Estados Unidos), sin embargo, los procesos de elaboración en estos países así como en nuestro medio han permanecido casi intactos (diag. 4). No obstante los mismos se han ido tecnificando para mejorar las propiedades mecánicas de sus materiales, mejorar su comportamiento ante condiciones externas extremas (congelamiento, alta humedad) y así poder alcanzar un rendimiento satisfactorio.

1.4.1 Identificación del Suelo

Para la elaboración del adobe primero se debe identificar y seleccionar el suelo, con el fin de conocer las características de la tierra y saber si podemos usarla en la producción del adobe. Como ya vimos en la sección 1.3 existen diferentes métodos para evaluar la composición de la tierra, de ser posible se debe hacer un análisis granulométrico ya que se lo considera un ensayo de laboratorio exacto.

Después de conocer los resultados de los ensayos de suelo se debe proceder a realizar una estabilización para la posterior elaboración de los adobes. Morales, et al., (1993) menciona en uno de sus ensayos de campo 3 posibilidades que se pueden obtener con la composición de la tierra :

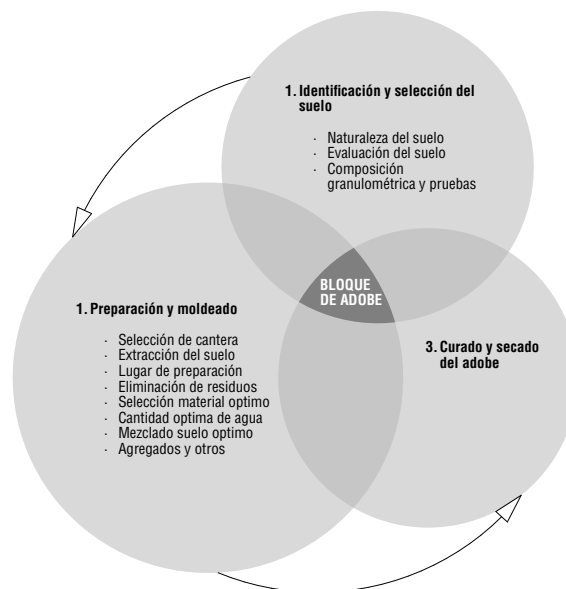
Tierra Arenosa: esta tierra es inadecuada para la elaboración de adobe, si

tenemos esta composición debemos estabilizarla colocando arcilla, como ya se había mencionado un contenido entre el 25% al 45% de arcilla en países como Perú se encuentra en el rango aceptable. (Saroza, et al., 2008)

Tierra Arcillo – Arenosa: esta tierra es adecuada para la elaboración del adobe.

Tierra Arcillosa: la tierra con demasiado contenido de arcilla es inadecuada para la elaboración de adobes razón por la cual se debe estabilizarla para su uso. Según Minke (2001), para rebajar el contenido de arcilla se debe colocar agregados gruesos (arena, grava) los mismos que deben humedecerse antes de ser añadidos a la mezcla. Así mismo al momento de realizar la dosificación se ha de tomar en cuenta el contenido de arcilla presente en el agregado grueso, ya que muchas veces la arena usada para la mezcla contiene cantidades pequeñas de arcilla.

En la tabla 7 se puede observar una curva de distribución granulométrica óptima para construcción de adobes en donde la arcilla esta en un 14%, 22% limos, 62% arena, y 2% de grava (Minke, 2001).



Diag. 4 - Proceso de fabricación del adobe - Unidad básica del mampuesto

1.4.2 Preparación y moldeado

Después de realizar la estabilización se procede al mezclado del material, se agrega tierra más una cantidad de agua hasta tener una composición pastosa (fig. 31a, b). En la construcción tradicional a más del barro se emplea fibras vegetales⁵ - como la paja de cerro - para conformar la mezcla que constituirá el adobe. El espesor de los tallos no debe ser mayor al espesor del mampuesto (Minke, 2001). Posteriormente se prepara la mezcla ya sea vertiendo el barro sobre una cama de paja o sumergiendo la paja en la mezcla de barro desarrollada previamente. (fig. 32)

Aquí debemos mencionar la importancia de este material para la elaboración del adobe, el uso de la paja debe ser cuidadoso, investigaciones realizadas en el FEB⁶ indican que mientras mayor es el porcentaje de paja en el barro menor es la resistencia a la compresión del adobe. (Tabla 8)

Posterior a realizar la mezcla se hace el moldeo, estos moldes pueden ser de madera cepillada, que en su proceso de fabricación debe considerar el encogimiento del adobe durante el secado con pruebas antes de producir una gran cantidad de los mismos, esto con el fin de obtener un adobe seco que corresponda finalmente con las dimensiones necesarias para el diseño. (Morales, et al., 1993).

Existen diferentes tipos de moldes, estos pueden ser individuales o múltiples (fig. 33a,b). La mezcla antes elaborada se vierte sobre ellos (mientras más fuerte se lance el barro mejor será la compactación y mayor será la resistencia).

Posteriormente se uniforma la superficie del barro en el molde, ya sea esto con una paleta, madera o un alambre y se extrae el molde. Según Minke (2001) una persona puede realizar 300 adobes en un día, esto incluido la preparación del mismo (fig 34, fig 35). La dimensión de los adobes es variable, sus proporciones, forma y dimensiones óptimas para la elaboración las mencionamos en la sección 1.6



fig. 31 - Estabilización y mezclado del Adobe.



fig. 32 - Paja de cerro en la elaboración del adobe.

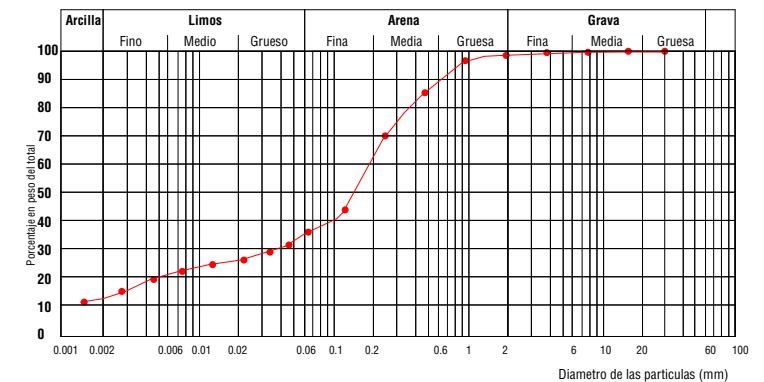


Tabla 7 - Curva de Distribución Granulométrica optimizada para adobes.

5. La fibra vegetal empleada comúnmente es la paja de cerro (Minke, 2001), razón por la cual al mencionar la adición de estas fibras en la fabricación de adobes tradicionales, se tomará siempre a este insumo como material conformante de la mezcla para la posterior conformación del mampuesto

6. "Forschungslabor fur Experimentelles Bauen" por sus siglas en alemán, es el laboratorio de construcciones experimentales la Universidad de Kassel, Alemania.

1.4.3 Secado

Después del proceso de vertido de la mezcla en los moldes se debe secar los adobes sobre una superficie limpia para su posterior uso, el tiempo de secado dependerá del clima, puede tardar entre 2 a 4 semanas, de ser posible a los 3 o 5 días se debe colocar de canto los bloques para mejorar el secado.(Oshiro, s.f.)(fig. 36 a,b)

Otro método para la elaboración del adobe que pretende facilitar y agilizar su proceso es mediante el uso de prensas manuales (fig. 37), Minke(2001) menciona que el rendimiento de una *prensa manual* es de 150 a 200 adobes al día por hombre, si a este lo comparamos con la elaboración de adobe de manera tradicional su rendimiento resulta inferior. La diferencia y ventaja al usar este proceso radica en la menor cantidad de agua necesaria para elaborar la mezcla, que permite un menor tiempo de secado.



fig. 34- Vertido de la mezcla en los moldes.



fig. 35 - Emparejamiento manual de la superficie.



fig. 36a - Secado de adobes de Canto



fig 36b - Secado de Adobes

Paja (%/masa)	Peso (Kg/m³)	Fuerza de compresión (N/mm²)
0	1882	2.2
1	1701	1.4
2	1571	1.3
4	1247	1.1
8	872	0.3

Tabla 8 - Reducción de la resistencia a compresión del barro con adición de paja cortada.



fig. 33a - Moldes para adobe.



fig. 33b - Moldes para adobe.



fig. 37 - Prensa Manual para adobes, CINVA RAM

7. Existen diferentes tipos de prensas manuales pero la prensa más conocida y usada es la desarrollada en Colombia, esta prensa se la conoce como CINVA-Ram.(Minke,2001)



1.5 Aplicaciones Contemporáneas en Adobe

1.5.1 Casa Lienzo de Barro

El objeto de éste apartado es dar a conocer propuestas contemporáneas de construcción en tierra, con especial énfasis en las edificaciones de adobe y así incentivar la investigación mediante el uso de tierra cruda.

En la arquitectura contemporánea se han desarrollado diferentes propuestas de construcción mediante el uso de bloques de adobe y adobe prensado (BTC); con el fin de conocer las prestaciones de la construcción en tierra cruda en la actualidad se indicarán edificaciones que emplean este material con especial enfoque en la tecnología empleada para el desarrollo de la misma.

Casa “Lienzo de Barro”

El proyecto denominado “Lienzo de Barro”- vivienda/museo - fue concebido con el fin de albergar la obra del maestro Eduardo Kingman, y a su vez como cobijo para una familia. La propuesta arquitectónica pretendía configurar muros que lograran la textura de las pilas de adobes mientras se encuentran en proceso de secado en talleres artesanales (Cevallos, Ramón, Trigueros, & De Oleza, 2014).(fig 38)

La estructura de la vivienda empleó muros portantes de adobe artesanal, la misma cuenta con refuerzos horizontales y verticales con el fin de conformar



fig. 38 - Apilado de bloques de adobe

una edificación con criterios de sismo resistencia. Por cuestiones estéticas los autores decidieron que las piezas de adobe se colocaran de canto para lograr la textura de los bloques en el momento de su secado como ya se había mencionado. Esta condicionante generó un problema en el momento de confinar la mampostería y trabar los muros, ya que al colocarlos de canto no existe traba entre las piezas. (Chaquiñán, 2014) (fig. 39, 40)



fig. 39 - Muro con adobes dispuestos de Canto



fig. 40 - Casa lienzo de Barro

DATOS GENERALES	
Sistema Constructivo	Adobe - BTC - hormigón
Arquitecto	Chaquiñán
Año	2013
Dueño	Familia Kingman
Ciudad/País	Tumbaco, Ecuador

Para solucionar este inconveniente de estructura el arquitecto a cargo del proyecto decidió conformar un bloque de varios adobes para trabarlos en conjunto. Dicho bloque se conforma confinando 3 hiladas de 8 adobes cada una que se refuerza lateralmente mediante placas metálicas empernadas, esto a más de un refuerzo horizontal con varillas de 8 mm. y en la sección vertical con cables de acero. Estos cables se traban en la cimentación y en la cadena solera del muro (fig. 41,42,45,46). Este armado de los bloques de adobe intenta emular la forma de transportar un grupo de libros apilados horizontalmente (Cevallos, Ramón, Trigueros, & De Oleza, 2014) (fig. 43).

Los autores se basaron en la experiencia de construcciones con tapial para generar trabes rectos en los claros de los muros y en forma de L en las esquinas, con el fin de favorecer encuentros “monolíticos” de mampostería y de esta manera evitar fisuras por esfuerzos de flexión. Para que el muro contenga una misma textura y no se insinúen estos grandes bloques confinados, se recubrió los trabes con mortero de barro. (fig. 44)

Finalmente el muro remata en una viga solera de 40x 20cm. - ancho y espesor respectivamente -, esta solera sobresale 10 cm. hacia el exterior para proteger a los muros de la caída del agua lluvia proveniente de la cubierta para que la humedad no ruede sobre la superficie y la erosione (Cevallos, Ramón, Trigueros, & De Oleza, 2014).



fig. 41 - Armado de Muros con refuerzo



fig. 42 - Placa metálica para formar bloques

La cubierta se asienta sobre la solera de hormigón armado mediante perfiles IPE que posteriormente conformarían los vanos de la ventana superior, sobre los mismos se ancló una viga de madera que soporta las cargas de una cubierta liviana.

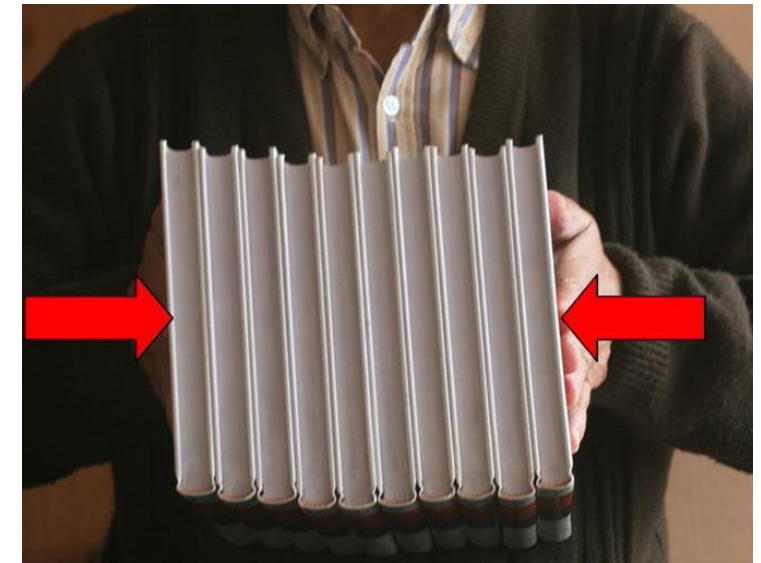


fig. 43 - Casa lienzo de Barro



fig. 44 - Casa lienzo de Barro

En cuanto al recubrimiento e instalaciones se realizó un enlucido mediante un compuesto formado por una resina sintética y agua para proteger el muro de la degradación por agentes externos. Esta mezcla se dio en relación 1:10, 1 parte de resina y 10 partes de agua. Así mismo las uniones de adobe fueron tratadas de tal manera que las mismas tienen canales entre 1,5 cm y 2,0 cm de espesor y 2 cm. de profundidad (Cevallos, Ramón, Trigueros, & De Oleza, 2014).

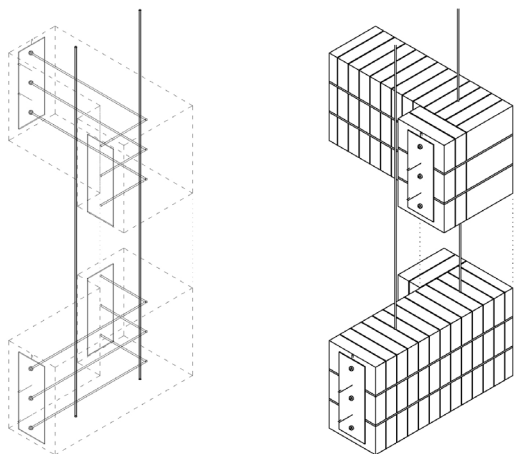


fig. 45 - Casa lienzo de Barro

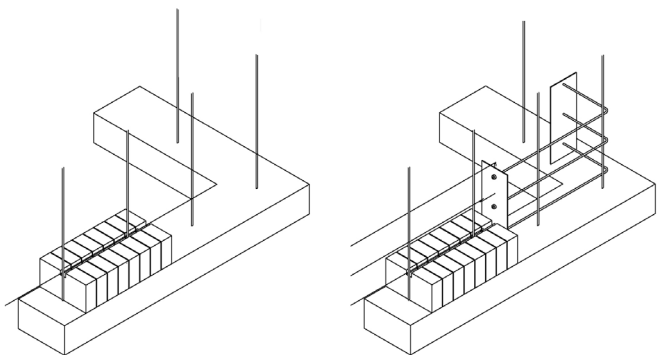


fig. 46 - Casa lienzo de Barro



fig. 47 - Casa lienzo de Barro - Cubierta de Madera

1.5.2 Módulos para Universidad Chiquitana

El proyecto se encuentra emplazado en la región boliviana Santa Cruz de la Sierra, el mismo consta de 3 módulos, construidos con muros portantes de adobe y cerchas ligeras en el caso del primer módulo; pilastras de ladrillo, adobe prensado o btc y cerchas ligeras en el caso del segundo y tercer módulo. (fig. 48)

Se optó por estos materiales ya que se intenta actualizar los conocimientos sobre arquitectura tradicional del oriente boliviano empleando materiales autóctonos como lo son el adobe y la madera. Debido a las fuertes lluvias - características de la zona - se eligieron soluciones constructivas que permitan cubrir los muros de la disgregación por la humedad, razón por la cual esta edificación cuenta con grandes zócalos, aleros y porches. El empleo de cerchas en la cubierta que cubren luces de 6.5 m. dejan entrever soluciones contemporáneas y eficaces. (Martínez, 2012)(fig. 49)

La solución constructiva para el primer módulo consta de una cimentación con zapatas corridas. Se realiza la cimentación según los métodos tradicionales, donde se funde una capa de hormigón ciclópeo de 60 cm. de profundidad. Posteriormente se construye un sistema de muros portantes de adobe. Sobre este muro y apoyado en un dintel - con el fin de evitar cargas puntuales - descansa la estructura de cubierta que emplea cerchas ligeras dispuestas cada 90cm. (Martínez, 2012).(fig. 50)



fig. 49 - Módulos 1, Universidad Chiquitana

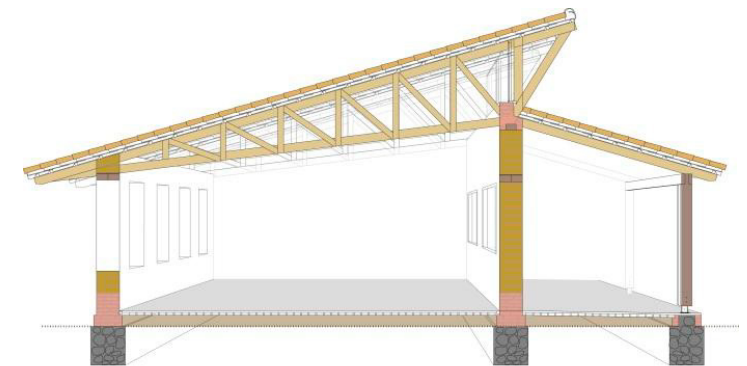


fig. 50 - Esquema Constructivo, Módulo 1

DATOS GENERALES	
Sistema Constructivo	Adobe - Madera - ladrillo
Arquitecto	Emili Hormías y Sandra Bestraten
Año	2011
Dueño	Universidad Chiquitana
Ciudad/País	Sta Cruz de la Sierra, Bolivia



fig. 48 - Módulos 1, 2 y 3 Universidad Chiquitana

En el segundo módulo la cimentación se soluciona de manera similar, sumando zapatas aisladas y arriostradas bajo los pilares que conforman la galería. (fig. 51,52)

Para la estructura se combina pilastras de ladrillo artesanal y un sistema de muros de adobe portante en la zona de los baños. Las pilastras tienen forma de U con dimensiones 1 x 0.6m. y se encuentran separadas 4m. entre ejes – la forma de U proporciona estabilidad frente al pandeo generado por la compresión –, sobre las mismas se apoya la cubierta solucionada mediante una cercha de madera (Martínez, 2012). (fig. 53)

Tanto para el cerramiento como para las divisiones interiores se emplea adobes colocados a soga. (fig. 54)

Finalmente la cubierta se solucionó con cerchas al igual que en el primer módulo, esta tiene una inclinación del 30%. (fig. 51)

El tercer módulo se soluciona de manera similar al segundo con la diferencia que los muros de adobe funcionan solamente como elemento de cerramiento, sin ningún fin estructural (Martínez, 2012).



fig. 52 - Módulos 2, Universidad Chiquitana

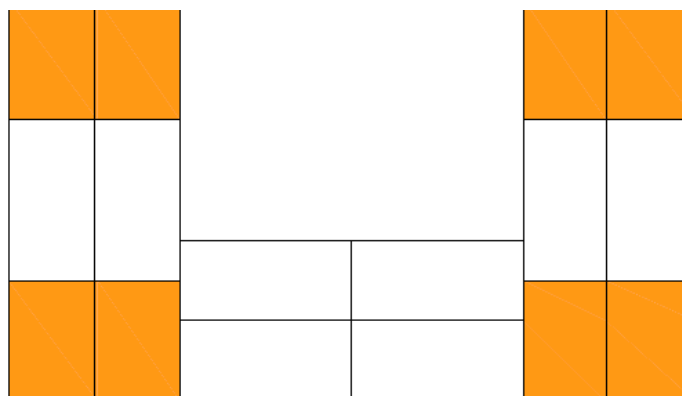


fig. 53 - Disposición de ladrillos para pilastras

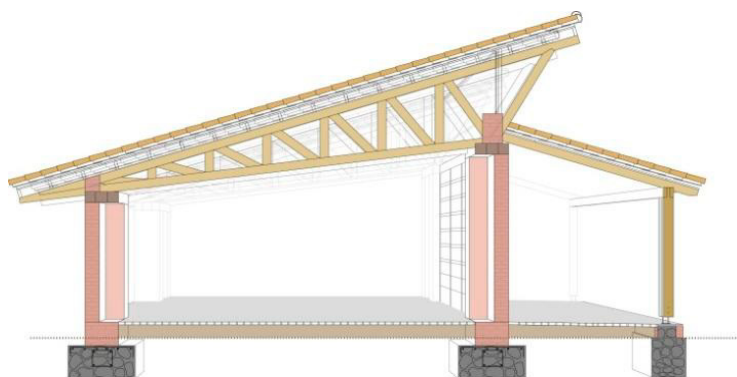


fig. 51 - Esquema Constructivo, Módulo 2 y 3



fig. 54 - Cerramiento de Adobe en módulos 2 y 3

1.5.3 Construcción con Adobe prensado estabilizado con C  namo(Cannabric)

El bloque denominado "Cannabric" se conforma de la misma manera que los adobes prensados o btc comunes, la diferencia principal con el resto de productos de su especie radica en el uso de la fibra vegetal conocida como c  namo empleada como estabilizante. El c  namo es una planta de rápido crecimiento, todas sus partes son aprovechables no solo en el campo de la construcción sino también en la industria textil.(Brumme, 2006)(fig. 55)

Según el fabricante se puede realizar una vivienda empleando este material en soleras y cubiertas, a más del bloque estabilizado. Una construcción de 100m² puede emplear alrededor de 10 toneladas de c  namo y una correcta construcción con este material puede reemplazar al hormigón y acero.

En el caso de la vivienda estudiada consta de 187m², la misma emplea una cimentación de zapatas corridas de hormigón ciclópeo con cal hidráulica natural ya que la intención era reemplazar en su mayoría el uso del cemento y acero en la construcción. La estructura portante se desarrolla mediante muros de carga Cannabric que para su unión emplean mortero de cal exclusivamente.



fig. 55 - Vivienda con Cannabric(bloque estabilizado con c  namo)

Se rematan los muros con una solera que a diferencia de la clásica viga de hormigón armado se la reemplaza por un mortero de composición natural, armado y aislado a su vez con c  namo. (Brumme, 2006)(fig. 56)



fig. 56 - Remate con Mortero de barro y cal



fig. 57 - Recubrimiento de cubierta con mortero de barro y cal

DATOS GENERALES	
Sistema Constructivo	Adobe Prensado
Arquitecto	Monika Br��mmer, Cannabric
Año	2005
Dueño	
Ciudad/País	Almería, Andalucía

La cubierta tiene una leve inclinación, según el proyectista es del tipo “cubierta plana”, la misma contiene una capa impermeabilizante que luego va recubierta con un mortero de barro, el mismo es fabricado en el lugar que consta de propiedades impermeabilizantes. A este mortero se lo conoce como terrado de launa (Brumme, 2006).

Para la primera capa de este mortero se funde losa de mortero de cal hidráulica fresca, con el fin de mejorar la protección durante el fraguado y a su vez unifica las capas. Para posteriormente colocar un mortero de barro estabilizado con cal (Brumme, 2006) (fig. 57).

Para finalizar cabe recalcar las propiedades técnicas que el cáñamo confiere al bloque de tierra cruda, ya que debido a la cantidad de poros presentes en la pieza, esta consta de una conductividad térmica mayor que la madera, y a su vez al estar libre de proteínas, la paja procedente del cáñamo – con la cual se estabiliza el bloque – no es atacada por los parásitos (Brumme, 2006).



fig. 59 - Muros Cannabric terminados



fig. 58 - Muros portantes de adobe prensado estabilizado con cáñamo



fig. 60 - Vivienda con Cannabric finalizada, muros revestidos con lechada de cal.



1.6 Sismo-Resistencia en el Adobe

1.6.1 Construcción con Adobe y Sismo - Resistencia

La Norma NEC 11 habla sobre “*la filosofía de diseño sismo-resistente*” en la cual detalla los siguientes requisitos a cumplir con el fin de que una construcción cumpla adecuadamente con criterios de sismo resistencia:

— “*Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante toda la vida útil de la estructura.*”

— “*Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.*”

También menciona que la filosofía de diseño sismo-resistente busca “...*eleva el nivel de protección de dichas estructuras y propender a que las mismas puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño.*” Después de establecer dichas bases sobre la construcción sismo-resistente a continuación se mencionarán valoraciones sobre sismo-resistencia en construcciones realizadas en adobe.

Sismo – Resistencia en Adobe.

Como ya se mencionó en la sección 1.1 el sistema constructivo en adobe tradicional no tiene un buen comportamiento ante los sismos (fig. 61), por tal razón se ha creído conveniente investigar el perfeccionamiento que se ha conseguido en la construcción con este sistema para mejorar su conducta ante dichos eventos.

Sismo

“*El sismo es definido como el movimiento de la corteza terrestre o como la vibración del suelo, causado por la energía mecánica emitida de los mantos superiores de la corteza terrestre...*” (Zelaya, 2007). Después de producido el movimiento telúrico se propaga una gran cantidad de energía en forma de “ondas elásticas”, las mismas se pueden transmitir a través de la masa terrestre o por medio de la superficie separadora de 2 cuerpos. (Zelaya, 2007)

Los efectos de destrucción de un sismo dependen de distintos factores tales

como la magnitud, suelo y subsuelo local, duración, profundidad del foco, geología, topografía y distancia al lugar. En el caso de las edificaciones estas son afectadas principalmente por los impactos creados en el plano horizontal con el movimiento de la tierra. En las viviendas una solución sismo resistente busca que las cubiertas se encuentren correctamente arriostradas y que los muros no se abran hacia el exterior, ya que un peligro constante en las edificaciones de adobe reside en el hecho que los muros colapsan hacia afuera en muchas ocasiones, dejando caer la cubierta hacia el interior (Minke, 2001, b).

Para soportar los esfuerzos horizontales Minke (2001, b), menciona que si existe una mayor ductilidad (donde son permitidas mayores deformaciones plásticas) la fuerza equivalente puede ser menor, es decir, para que una estructura de adobe tenga un correcto comportamiento ante los sismos debería disponer de una ductilidad mayor, con el fin de que sea capaz de absorber algo de la energía mediante las deformaciones plásticas.



fig. 61 - Construcciones de Adobe después de un Sismo. Pisco, Perú

De igual manera el mismo autor propone una fórmula que determina la calidad del comportamiento con respecto al riesgo de colapso mediante la siguiente relación: $\text{calidad de comportamiento} = \text{resistencia} \times \text{ductilidad}$

De esta relación se infiere que la estructura debe tener una gran resistencia y baja ductilidad o viceversa, así como podría tener valores intermedios para generar un mejor comportamiento, es decir, cuanto menor es la resistencia, mayor es la ductilidad que se necesita y cuanto menor la ductilidad, mayor es la resistencia necesitada.

Para la primera relación (menor ductilidad, mayor resistencia) la estructura debería tener una resistencia muy alta para que resista el sismo sin ninguna deformación y de esta manera obviar la ductilidad que no sería necesaria. Estas soluciones pueden observarse en antiguas viviendas de tapial o adobe que contaban con paredes de 60cm de espesor, sin embargo, en la actualidad estas soluciones son poco económicas. (Minke, 2001, b)

Según Grohmann ctd en Minke (2001, b), frecuentemente se eligen soluciones con estructuras de resistencia media, con el fin de resistir deformaciones plásticas de carácter moderado donde el requerimiento de ductilidad podría ser relativamente bajo y en donde ante sismos de gran intensidad "...todavía quedan reservas plásticas suficientes, que impiden un colapso aunque con grandes deformaciones y daños." (Minke, 2001, b)

Efectos de Sismo en Construcciones de Adobe

En cuanto al comportamiento sísmico de las construcciones de adobe, las fallas pueden atribuirse especialmente a su poca resistencia a la tracción y la pobre adherencia entre el adobe y el mortero. Zelaya (2007), presenta 3 tipos de fallas que a menudo se observan en las construcciones de adobe, mismas que se presentarán a continuación:

Falla por tracción

Esta falla se genera por esfuerzos de tracción directa que se suelen producir en alguno de los muros y en arriostres lateral a otro muros de encuentro. (fig. 62)

Falla por flexión

Esta falla puede ocurrir en secciones tanto horizontales, como verticales u oblicuas, debido a esfuerzos de tracción ocasionada por flexión, ya que el muro actúa como una losa de apoyo y en los elementos que lo arriostran. De igual manera Gutierrez & Manco (2006), señalan que los mencionados esfuerzos horizontales generan flexión en los muros, ocasionando grietas localizadas en las esquinas superiores que tienden a propagarse hacia abajo. (fig 63)

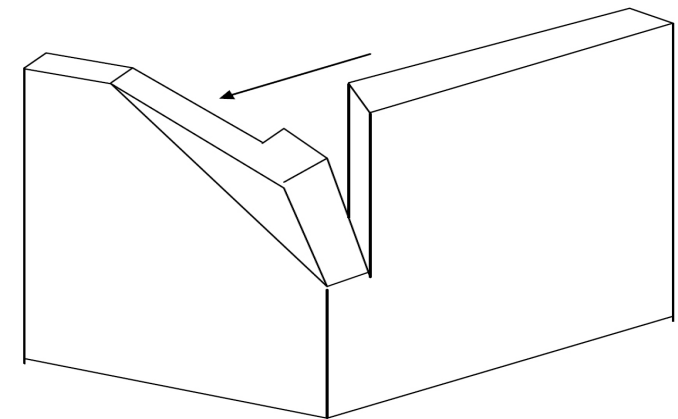


fig. 62 - Falla a tracción en construcciones de adobe

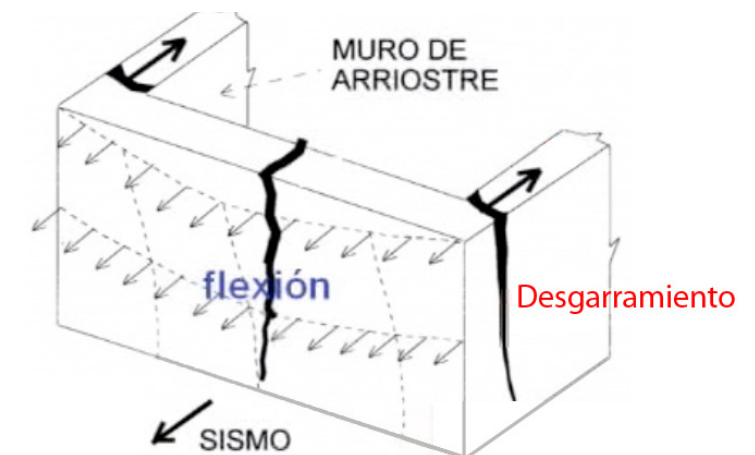


fig. 63 - Falla a flexión en construcciones de adobe

Falla por Corte

Esta falla se produce principalmente por esfuerzos tangenciales en las juntas horizontales de los muros.(fig 64)

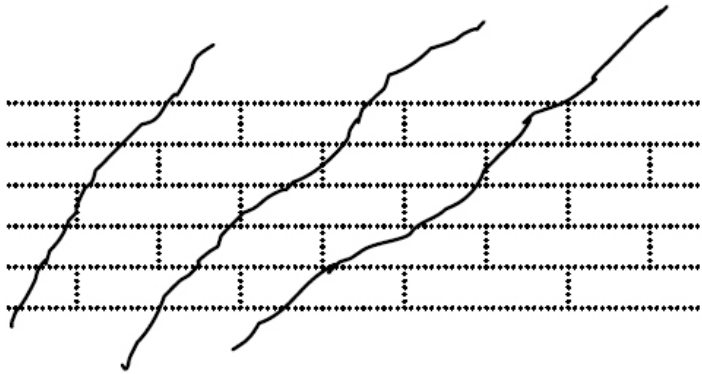


fig. 64 - Falla por corte en construcciones de Adobe

Causas de Fallas en Construcciones de Adobe

A continuación se describirán las causas por la cual el adobe falla en su resistencia ante los sismos, las mismas se han obtenido de diferentes autores (Zelaya, 2007; Minke, 2001, b):

Dimensionamiento inadecuado del bloque de adobe

Deficiente calidad del adobe

Traba horizontal insuficiente del mortero

Deficiencia en los encuentros de muro y trabas inadecuadas entre los mismos

Dimensionamiento Incorrecto de Muros

Vanos de Puertas y ventanas demasiado amplias, así como demasiados vanos en una pared

Inexistencia de la denominada “viga collar”

Techos pesados y mal arriostramiento a los muros

Criterios de Sismo Resistencia en la Construcción con Adobe

Después de revisar a diversos autores que investigan sobre la construcción en adobe sismo-resistente, se ha llegado a la conclusión que todos concuerdan con la definición del concepto de construcciones de adobe con “tierra armada”. *“Se denomina tierra armada al material compuesto de tierra y refuerzos de materiales compatibles y resistentes a tracción que forman un conjunto desde el punto de vista mecánico y aprovechan con ventaja las propiedades resistentes de ambos materiales”* (M. Blondet, 2011).

Blondet, Villa García(2004) mencionan 3 factores clave para lograr un comportamiento sísmico mejorado:

1. Composición de la unidad de adobe y calidad de construcción.
2. Distribución robusta
3. Tecnologías constructivas mejoradas incluyendo refuerzo sísmico.



fig. 65 - Fisuras en vanos, construcción en Adobe



Así mismo Blondet et al. (2010), muestra un gráfico explicativo sobre las características de la vivienda de adobe sismoresistente que se muestran en la figura 66.

Composición de la unidad de adobe y calidad de Construcción

El dimensionamiento, la calidad de construcción así como la composición de la tierra para elaborar una pieza de adobe fabricado por el método tradicional se especifica en la sección 1.6 la misma que fue obtenida de la normativa E.080. A más de esto a continuación se presentan algunas consideraciones – no expuestas en la normativa – señaladas por diversos autores (Zelaya, 2007; Minke, 2001; Blondet, 2004) sobre las dimensiones de los bloques de adobe:

_ La longitud de una pieza de adobe no debería ser mayor o igual al doble del espesor, más el espesor de una junta. Con el fin de optimizar la traba entre piezas se ha creído conveniente mencionar que la medida óptima de un bloque tendría en su longitud el doble del espesor, más el espesor de la junta de manera exacta.

$$L \leq 2a + e_j$$

Donde, L=longitud, a=ancho, e_j =espesor de junta



fig. 66 - Construcción de adobe sismoresistente.

_ Debido a los esfuerzos de corte el peso máximo debe ser 30 kg. Ya que se puede observar la falla por sismo en paredes de adobe en ángulo de 45°, esta falla debería producirse por rotura del adobe más no por falla en la junta. Por dicha condicionante Zelaya (2007) señala que el largo de la pieza debería ser mayor que el doble del ancho, porque con esto "...no se le hace camino a la falla por sismo" y de existir la misma sería por rotura del adobe y no de las juntas.

En cuanto al dimensionamiento de los adobes prensados o bloques de tierra comprimida el cambio es sustancial en las dimensiones recomendadas, existen normativas como la Española UNE EN 41410:2008 que especifica dimensiones basadas en normas creadas para "piezas de fábrica de albañilería" como ladrillos de arcilla cocida o bloques alivianados de hormigón. No obstante después de una investigación de distintos autores (Minke, 2001; Blondet, 2004; San Bartolomé 2001) y de la revisión de la mencionada normativa, se concluye que las medidas se asemejan a las indicadas en distintas normas para ladrillos de arcilla cocida, así mismo Guillaud & Joffroy (1995), exponen que las dimensiones adecuadas de los bloques de tierra comprimida comunmente son de 29.5 x 14 x 10 cm, es decir, la longitud debería ser el doble del ancho, y la altura en lo posible igual o menor a 1/3 de la longitud.

El espesor de la junta para los adobes prensados es similar a la empleada en el adobe tradicional y está entre 1,5 y 2cm (Guillaud & Joffroy, 1995).

Distribución Robusta

Según Coburn et al, (1995) la forma más segura de construcción en adobe es la cuadrada de un piso, ya que los mismos son los principales elementos portantes de estas edificaciones. Minke (2001,b), coincide con esta consideración y menciona que para obtener una vivienda estable la forma de la planta cumple un rol importante, es así que mientras más compacta sea la misma más estable será la edificación. De igual manera se considera importante evitar los ángulos y de ser estos necesarios se recomienda separar los espacios. (fig. 67)

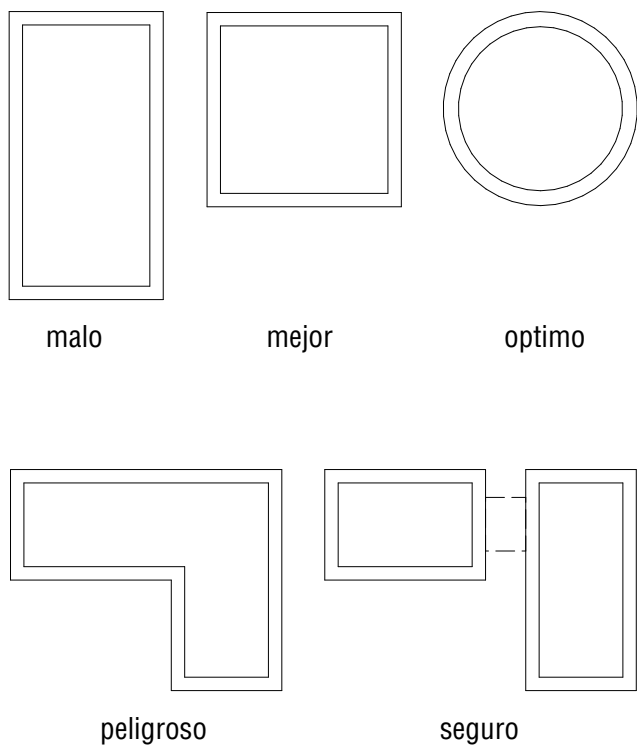


fig. 67 - Formas de planta peligrosas y estables

En cuanto a los vanos de puertas y ventanas Minke(2001,b), indica que durante los sismos se generan grietas diagonales en las esquinas y sobre los dinteles grietas horizontales siendo puntos vulnerables. Debido a estos problemas se necesita que los dinteles se encuentren empotrados al menos 40 cm en la mampostería con el fin de obtener una buena traba. Existen diferentes opciones para solucionar los dinteles, sin embargo la solución óptima consiste en ejecutar al dintel como encadenado y a su vez el antepecho bajo la ventana no se realiza con mampostería sino con elementos flexibles como planchas de madera o bahareque. Así la ventana cumpliría la misma función que la puerta donde el vano conformado separa los elementos del muro. Finalmente para tener un arrioste adecuado, los bordes de los vanos se pueden reforzar mediante columnas verticales ancladas en los muros (Minke, 2001). (fig 68,69)

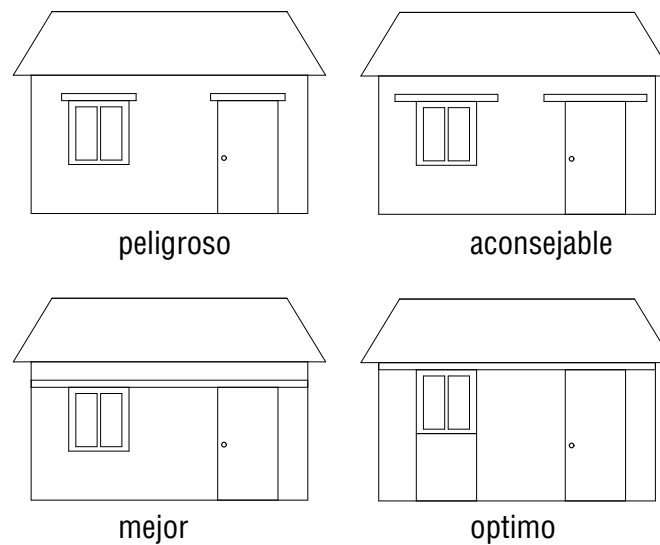


fig. 68 - Opciones de empotramiento de Dinteles

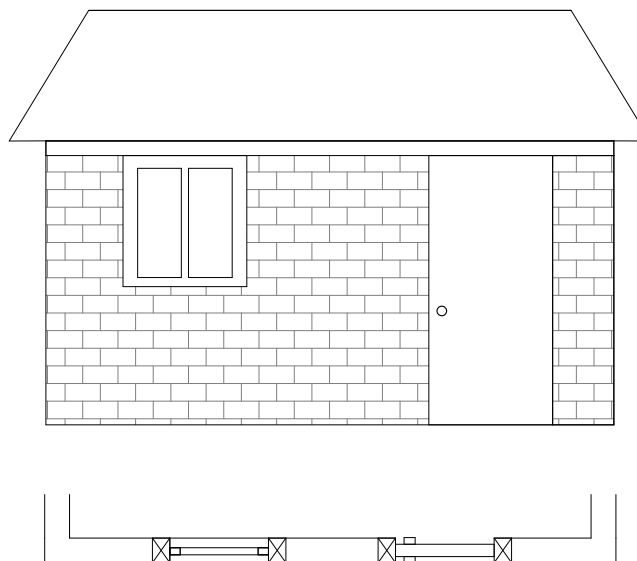


fig. 69 - Elaboración óptima de vanos



En cuanto a la ejecución de los vanos la normativa E.080 menciona que el ancho máximo para puertas y ventanas debería ser $1/3$ de la longitud del muro, la distancia entre el borde libre y el arriostre vertical más cercano tiene que ser mayor a 3 veces el espesor del muro y no deberá exceder de 5 veces.

Minke (2011,b) habla de “reglas” para ejecutar vanos donde coincide con la longitud especificada en la norma E.080 ($1/3$ de longitud), sin embargo agrega que la longitud máxima recomendada no debería exceder los 1,20m.

Para la elaboración de los muros, la estabilidad se consigue controlando la esbeltez, y empleando arriostres y/o refuerzos. El espesor de los muros está determinado por la altura libre, y la longitud máxima recomendada entre arriostres verticales debe ser 12 veces el espesor del muro. (Normativa E.080) Para formar las trabas de los muros en los diferentes encuentros la normativa E.080 ha especificado diferentes formas de realizarlo las mismas se muestran en el Anexo A, pg. 3.

La normativa E.080 clasifica el uso de arriostres y refuerzos obligatorios según la esbeltez del muro, los mismos están descritos en el Anexo A pg. 4

En cuanto a la estructura de cubierta la normativa E.080 recomienda que techos de cubierta livianos y la distribución de su carga tendría que estar en la mayor cantidad de muros posible. A la recomendación de la normativa se agrega una solución expuesta por Minke(2001,b), donde señala que en lo posible la cubierta debería solucionarse a 4 aguas, con el fin de eliminar la existencia de tímpanos ya que tienden a colapsar durante los sismos como consecuencia de los impactos horizontales en su eje. Otra opción para solucionar la cubierta radica en la posibilidad de solucionar la estructura de cubierta mediante el uso de columnas exentas, es decir, realizar una estructura de cubierta autónoma ya que como menciona Minke (2001, b) al ocurrir un sismo “...la cubierta tiene una frecuencia diferente a la de los muros.”, estas columnas separadas permiten un movimiento independiente. (fig. 70,71)

Si se solucionara la cubierta con una estructura de columnas exentas, deberían empotrarse en los cimientos y anclarse a la cubierta mediante un arriostramiento. Dichas uniones deben ser dúctiles, por tal motivo tienen que ser semirrígidas.

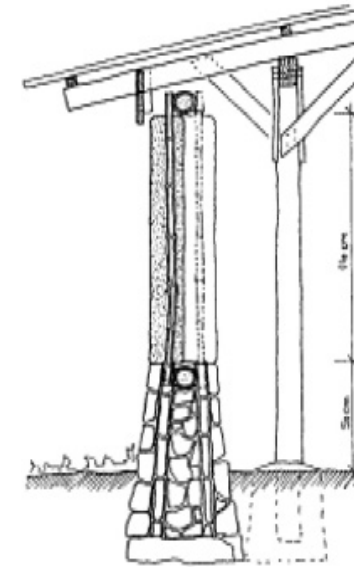


fig. 70 - Cubierta Exenta de estructura de muros



fig. 71 - Cubierta Exenta de estructura de muros, Casa de la Cultura del Río, Cuenca.

Refuerzos Sísmicos

Se han desarrollado distintos sistemas que trabajan como refuerzos sísmicos en el adobe, a continuación se presentan opciones para mejorar el comportamiento de las construcciones ante los sismos.

En Perú el ININVI desarrolló un sistema de refuerzo para muros que consta de piezas de adobe con ranuras de 5cm de diámetro hacia los extremos. En la mitad con una sola ranura, con el fin de poder trabarlos mediante refuerzos y hacerlos trabajar en conjunto. El material de las trabas verticales son cañas, y se recomienda que las trabas horizontales no sean de este material ya que pueden debilitar el muro en vez de reforzarlo (Minke,2001,b). Según Minke(2001,b) esta falla surge por la débil unión entre la caña con el adobe, para conseguir una mejor adhesión de los materiales se debe colocar un mortero de 2cm antes de colocar la caña y 2cm del mismo después; de esta manera se conseguirá un buen comportamiento sísmico de estos refuerzos. Cabe recalcar que el refuerzo horizontal se debería colocar cada 4 hiladas de mampostería (Vargas, 1978 ctd. en blondet, et al.).(fig. 72)

A más de los mencionados refuerzos este sistema usa contrafuertes integrados, intermedios y en sus esquinas. Los contrafuertes intermedios se deben usar cuando la longitud del muro de adobe es mayor a 12 veces de su espesor. (fig. 73,74)

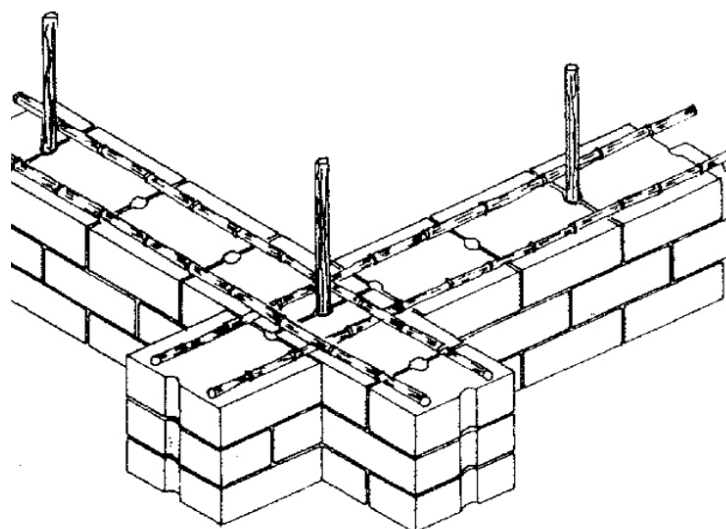


fig. 73 - Sistema de refuerzo con caña de ININVI, Perú

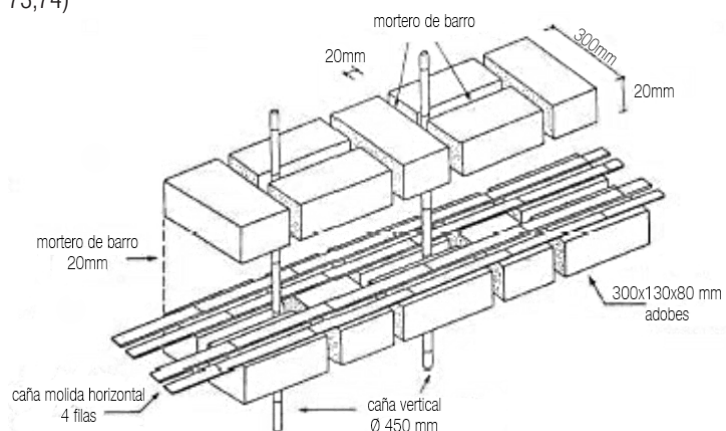


fig. 72 - Construcción con Tierra Armada, refuerzo con caña

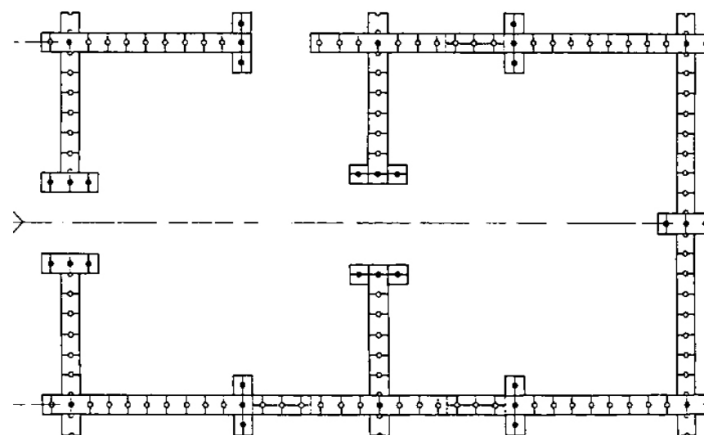


fig. 74 Planta Sistema ININVI, Perú

Malla electrosoldada

La malla electrosoldada se configura como una opción de refuerzo para muros de adobe, esta malla se coloca en franjas horizontales y verticales disponiéndose de manera similar a vigas y columnas. Dichas mallas se colocan en las zonas más débiles de la vivienda como son las esquinas o encuentros de muros y en la parte superior de los mismos (San Bartolomé, et al., 2003).(fig. 75)

La malla electrosoldada se coloca tanto en la parte interior y exterior del muro que se conectan entre sí mediante alambres que atraviesan la mampostería. Posteriormente se realiza un recubrimiento de la malla para protegerla de la acción de agentes externos, este enlucido se realiza con un mortero de cemento: arena en proporción 1:4. Cabe mencionar que no es necesario que las mallas estén ancladas a la cimentación o al techo por lo que este refuerzo es válido también para construcciones existentes. (San Bartolomé, et al., 2003)

San Bartolomé & Quiun (2008), dan pautas para el diseño de estas mallas que serán expuestas a continuación:

Mallas esquineras

Las mallas esquineras internas deben tener 90 cm. de ancho total y se extenderán toda la altura del muro(fig. 76)

Las mallas esquineras externas deberán estar compuestas por franjas continuas de 90cm de altura, con un traslape vertical de 10cm.

La longitud total de la franja deberá ser igual a: $2t + 90\text{cm}$, donde "t" es el espesor de la mampostería.

Mallas longitudinales

Deben tener un ancho de 45cm y su traslape con las mallas esquineras será de 30cm.

En el centro del muro la malla deberá ser continua (fig. 77).



fig. 75 Vivienda de Adobe con reforzada con malla electrosoldada, Perú

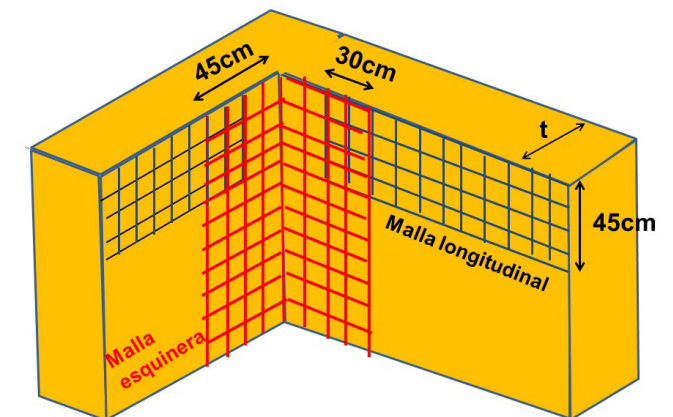


fig. 76 - Refuerzo en esquinas con malla electrosoldada

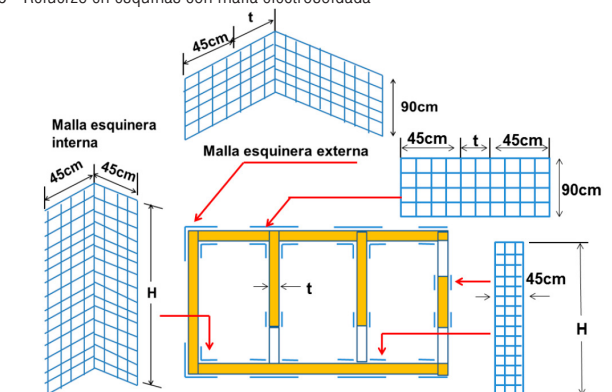


fig. 77 - Refuerzo con malla electrosoldada

Estas mallas están diseñadas para controlar las grietas originadas por esfuerzos de tracción por flexión localizados en la parte central del muro. (San Bartolomé & Quiun, 2008)

Para una vivienda de adobe que conste de un solo piso y 2 ambientes el costo del refuerzo oscila los \$200. En el año 2001 en la localidad de Arequipa, Perú tuvo lugar un sismo de intensidad moderada donde existían viviendas reforzadas con esta solución constructiva, el resultado fue satisfactorio ya que las viviendas no sufrieron daños en comparación a las edificaciones contiguas que no contenían refuerzo. (Blondet et al., s/f)

Geomalla

Una opción viable para reforzar las viviendas de adobe es mediante el uso de mallas plásticas denominadas geomalla. Este reforzamiento consiste en incorporar dicho material a lo largo de los muros de adobe, que se amarran mediante cintas plásticas a los cuales se los recubre con un mortero de barro para resguardarlo de agentes externos. (fig. 78,79) Es recomendado que la geomalla cubra en forma continua el área del muro en la mayor cantidad posible. De igual manera para que el refuerzo trabaje en conjunto la malla debe ser continua en esquinas y bordes, tanto interiores como exteriores, y la misma debe estar anclada a la cimentación y a una viga collar⁹ de concreto o madera (Quispe & Rondón, 2012). (fig. 80,81,82)

La ventaja de emplear este material como refuerzo radica en la compatibilidad del material con el barro y en su durabilidad. En países como Perú son muy usadas ya que son fáciles de implementar y aportan propiedades de rigidez y resistencia, ensayos de flexión realizados en módulos reforzados con geomalla muestran un comportamiento dúctil de la estructura y una gran capacidad de deformación. (Torrealva, 2009 ctd en Quispe & Rondón, 2012). Según Torrealva, et al. (2009), el uso de refuerzo con geomalla hacia el interior y el exterior confinan el muro de adobe y permiten disipar gran cantidad de energía.

Blondet, et al., (s.f.) Realiza una comparación entre los dos sistemas de refuerzo mediante mallas y menciona que si bien el muro reforzado con malla electro-soldada soporta una carga mayor ante los esfuerzos de flexión y tracción



fig. 78 - Refuerzo con geomalla en vanos

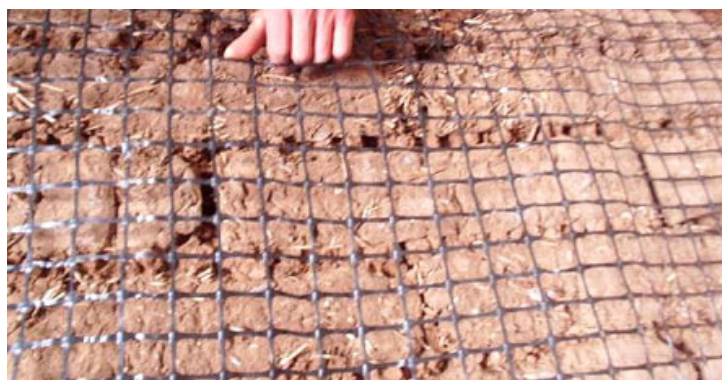


fig. 79 - Refuerzo con geomalla

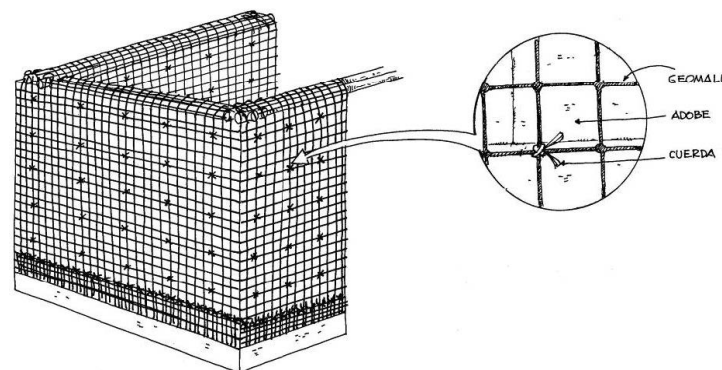


fig. 80 - Sujeción de Geomalla en Adobe

9. La viga collar es un elemento de arrioste horizontal obligatorio para viviendas tradicionales de adobe, estos deberán conformar un sistema continuo e integrado (Norma NTE. 080).

falla súbitamente con poca deformación. Por otro lado el muro reforzado con geomalla obtuvo una menor resistencia pero a diferencia de la malla electro-soldada su comportamiento fue estable, otorgando una mayor capacidad de deformación a la estructura sin perder demasiada resistencia.

Refuerzo con adobe prensado y tubos PVC

Mediante el uso de prensas manuales o mecánicas y empleando refuerzos de distintos tipos se puede lograr una construcción con criterios de sismo resistencia. En la elaboración del adobe mediante estas prensas el barro usa menos agua, pero la mezcla se debe estabilizar con otros materiales, ya que se ha observado que al hacer la dosificación de la mezcla de manera tradicional la resistencia a la compresión es menor usando esta máquina que elaborando los

adobes a mano (esto por la menor cantidad de agua contenida en el adobe prensado). (Minke, 2001)

Villón & Castillo (2013), emplean un sistema de tierra armada o “albañilería armada”, la cual es reforzada internamente de manera similar al sistema usado por la ININVI, sin embargo, en este sistema se usa el adobe prensado con bloques alveolares, como refuerzo interno se utilizan tubos PVC y para su unión horizontal se emplea una solera de amarre para el muro, cuyo material constitutivo es hormigón. (fig. 83,84) Los tubos PVC proporcionan ductilidad al sistema, con lo que se mejora la resistencia al corte del mismo, sin embargo, el uso de la viga solera es insuficiente para controlar fallas por desgarramiento vertical (Villón&Castillo,2013). (fig. 85)

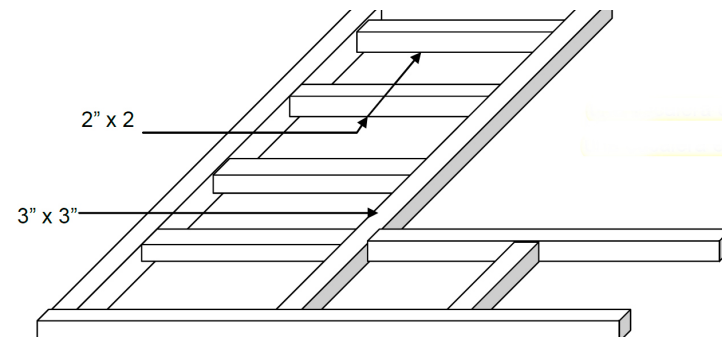


fig. 81 Viga Collar

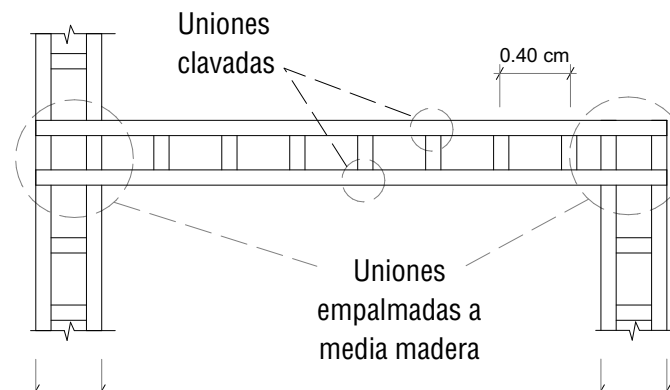


fig. 82 Armado de Viga Collar



fig. 83 - Prensa para realizar bloques de tierra alveolares



fig. 84 - Muro reforzado usando tubos PVC

Sin embargo el uso de la viga solera es insuficiente para controlar fallas por desgarramiento vertical en las esquinas, razón por la cual se recomienda reforzar los encuentros en las esquinas con malla electro soldada (fig. 86). Esta recomendación se realizó basándose en los estudios existentes de distintos autores (Blondet et al., 2004; San Bartolomé & Quiun, 2008) sobre el uso de este material como refuerzo en las esquinas.

Cabe recalcar que para que este tipo de refuerzos internos (tubos PVC, caña) funcionen, los mismos deben ser continuos en el muro, esto con el fin de que al momento del sismo con el agrietamiento de los muros, los pedazos formados no se desprendan (Blondet et al., s/f). Se debe respetar las proporciones de los bloques de adobe, así como las trabas en las esquinas y el empleo de contrafuertes (de ser necesario) para conformar un sistema armado que resista a esfuerzos laterales, evitando fallas de corte, flexión y tracción.

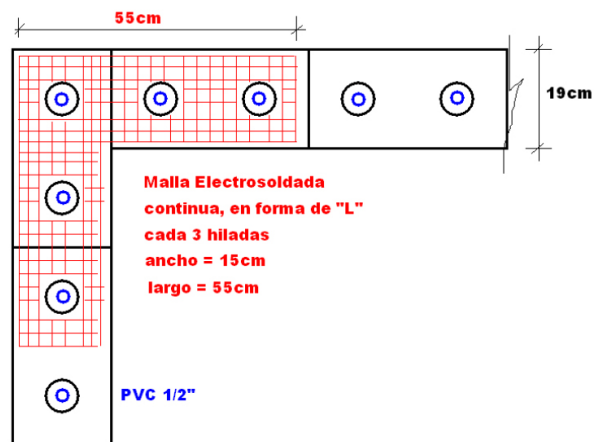


fig. 86- Muro reforzado usando tubos PVC, encuentro en esquinas

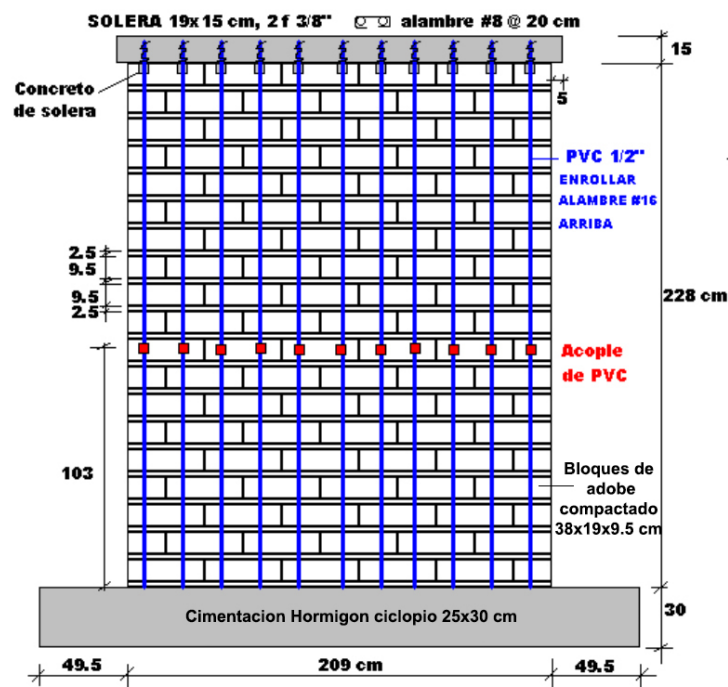


fig. 85 - Muro reforzado usando tubos PVC, esquema de armado.

Finalmente cabe mencionar que existe un proyecto de actualización de la normativa Peruana E.080, donde existen nuevas consideraciones en el uso de refuerzos y donde se incorpora el mencionado concepto de tierra armada, así como se agregan conceptos concernientes a la construcción sismo-resistente en adobe. En el Anexo B se recogen las principales actualizaciones del documento, mismas que se tomarán en cuenta para el diseño del anteproyecto de una vivienda unifamiliar construida en adobe, donde se hará la elección de uno de los sistemas de refuerzo para desarrollar el anteproyecto.

10. Bloques de tierra que contienen en su parte central alveolos, de tal manera que "los alvéolos de los bloques de hiladas consecutivas coincidan para que a través de ellos pase el refuerzo vertical."





1.7 Normativas de Construcción en Tierra



1.7.1 Normativas de Construcción en tierra

Con el paso del tiempo la construcción en tierra ha obtenido mayor aceptación global en sus distintos sistemas constructivos, muchos países intentan normalizar los métodos o formas de construcción con el fin de conseguir una mayor calidad final para así resolver problemas derivados de la ausencia de normativas que exijan mejores prácticas para el uso de estas técnicas. (Cid, et al., 2011)

Existen distintos tipos de normas alrededor del mundo que regularizan la construcción en tierra, sin embargo muchas de estas se encuentran en fases experimentales o de desarrollo. Cid, et al., (2011) recoge las diferentes normativas sobre construcción en tierra en el mundo, mismas que se muestran en la tabla 8. Así mismo este autor menciona que el 79% de las normativas centran su contenido en la regularización de una sola técnica constructiva.

Después de investigar distintas normativas de construcción exclusivas de adobe, así como de adobe prensado – más conocido como bloques de tierra comprimida – creímos conveniente basarnos en la norma Peruana NTE E 080, la norma española UNE_41410_2008 y las normativas Estadounidenses ASTM E 2392 M10 - NMAC, 14.7.4.2004 . Si bien cada una de estas normativas tiene condicionantes especiales creemos que se complementan, ya que la normativa Peruana estudia únicamente la construcción con adobe y adobe estabilizado, sin embargo no hace mención del adobe prensado o Bloque de Tierra Comprimida (BTC); esto a diferencia de la norma española –desarrollada por la organización gubernamental AENOR – que estudia exclusivamente los BTC o adobes prensados y se constituye como la primera norma Europea en este ámbito(existen normas tales como la francesa desarrollada por AFNOR sin embargo esta se encuentra en fase experimental). La normativa Estadounidense NMAC, 14.7.4.2004 regula tanto la construcción de adobe, adobe estabilizado y adobe prensado; la razón por la cual no se usa exclusivamente esta normativa –se la podría considerar más completa que las mencionadas anteriormente – radica en la ausencia de métodos de ensayo para conocer el comportamiento de los bloques ante la acción del agua, además las pruebas para determinar la compresión se basan en las normas ASTM D – 1632 y ASTM D – 1633, mismas que estudian la estabilización de bloques suelo-cemento únicamente.

País/Grupo	Norma/Reglamento	REF.	EST.	Técnica	Campo de aplicación	Selección suelos	Requisitos productos	Ensayos	Fabricación	Construcción	Diseño	
Brasil 1	NBR 8491, 1986.	7	x	Bloque comprimido macizo	Condiciones exigibles para recibir los bloques	x	x					
	NBR 8492, 1986.	8			Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua para bloques			x				
	NBR 10832, 1989	9					x		x			
	NBR 10833, 1989	10		Bloque comprimido macizo y perforado	Procedimiento de fabricación con prensa manual/hidráulica	x			x			
	NBR 10834, 1994.	11		Bloque comprimido perforado sin función estructural.	Condiciones de recepción	x	x					
	NBR 10835, 1994	12		Forma y dimensiones de los bloques		x						
	NBR 10836, 1994	13		Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua			x					
	NBR 12023, 1992	14		Bloques suelo-cemento	Procedimientos de ensayos				x			
	NBR 12024, 1992	15							x			
	NBR 12025, 1990	16							x			
	NBR 13554, 1996	17							x			
NBR 13555, 1996	18						x					
NBR 13553, 1996	19	Pared monolítica sin función estructural	Condiciones exigibles para los materiales para paredes monolíticas sin función estructural.	x	x							
Colombia 2	NTC 5324,2004	20	x	Bloques macizos de suelo-cemento para muros y divisiones.	Caracterización y métodos de ensayo de los bloques macizos suelo-cemento.	x	x	x				
EEUU 3	NMAC, 14.7.4, 2004	21		Adobe, Bloques de tierra comprimida y tapial	Reglamento de construcción	x	x	x		x		
4	ASTM E2392 M-10	22		Adobe, tapial	Guía para construcción de sistemas con tierra	x		x	x	x		
España 5	UNE 41410:2008	23		Bloques de tierra comprimida	Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo	x	x	x				
Francia 6	XP P13-901,2001	24		Bloques de tierra comprimida	Terminología, dimensiones y métodos de ensayo	x	x	x				
India 7	IS 2110 : 1980	25	x	Pared in-situ de suelo-cemento	Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3,2 m de altura y anchura >300mm muros de carga o >200mm particiones.	x	x			x		
	IS 1725 : 1982.	26	x	Bloques de tierra comprimidos estabilizados.	Requisitos y pruebas para bloques de tierra de uso en construcción en general. Procedimientos de ensayos.	x	x	x				
	IS 13827 : 1993	27		Adobe y tapial	Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra		x			x		
Kenya 8	KS 02-1070-1,1999.	30	x	Bloques de suelo estabilizados con cemento o cal	Requisitos para la construcción con este bloque	x	x	x				
Nueva Zelanda 9	NZS 4297, 1998.	32		Adobe, bloque comprimido, tierra vertida, tapial	Diseño estructural y de durabilidad de los edificios de tierra					x	x	
	NZS 4298, 1998.	33			Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayos	x	x	x	x	x		
	NZS 4299, 1999.	34		Adobe, bloque comprimido, tapial	Requisitos de diseño y construcción para adobe, bloques comprimido o tapial que no necesitan diseño específico.					x	x	
Perú 10	NTE E 0.80, 2000	35		Adobe	Requisitos para la construcción de adobe simple y adobe estabilizado	x	x	x	x	x		
11	NTP 331.201, 1979	36	x	Adobe estabilizado con asfalto	Definiciones, condiciones generales y requisitos		x	x	x			
	NTP 331.202, 1979.	37			Procedimientos de ensayo	x						
	NTP 331.203, 1979.	38			Muestreo y recepción.		x					

Tabla 9 - Normativas de Construcción en Tierra.



Finalmente la normativa Estadounidense ASTM E 2392 M10 define en su alcance *“guías para sistemas de edificación con tierra, también llamados construcción en tierra, y menciona requerimientos técnicos y consideraciones para el desarrollo sostenible.”*, Definiéndose así como una normativa que da pautas para el diseño de muros de tierra, la misma carece de información sobre ensayos para determinar las características técnicas de los bloques, razón por la cual se toma esta normativa como un complemento de las mencionadas anteriormente.

Cabe mencionar que existe otra normativa en nuestra región sobre construcción en tierra, la norma Colombiana NTC 5324 estudia los BTC, sin embargo, fue desarrollada para evaluar los adobes estabilizados con cemento exclusivamente, denominados bloques suelo-cemento razón por la cual no se tomará en cuenta para este estudio.

1.7.2 Definiciones

Después de estudiar las distintas normativas se tomarán las definiciones existentes en la normativa peruana NTE E.080 sobre elementos de adobe expuestas en el Anexo A.

1.7.3 Bloque de Adobe

Granulometría

La normativa NTE E 080(Perú) menciona que la gradación de la tierra debe ser aproximada a los siguientes valores: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, se tomará en cuenta que no deben usarse suelos orgánicos. Estos porcentajes varían en el caso de adobes estabilizados. Para adobes prensados o bloques de tierra comprimida la norma UNE 41410 expone que no se admitirán suelos con contenido de arcilla menor al 10%, se debe rechazar tierras que contengan materia orgánica en porcentaje igual o mayor del 2%.

Estabilizantes

El empleo de estabilizantes para bloques de tierra cruda está desarrollado en mayor medida por la normativa UNE 41410, las consideraciones presentes en la misma se podrían aplicar para adobes tradicionales razón por la cual se tomará en cuenta solo las condicionantes expuestas en dicha normativa ya que exponer también la información obtenida en el resto de normativas sería redundar en el tema.

La intención de usar un estabilizante para tierra es mejorar la calidad y la composición de la tierra para desarrollar el bloque. Estos estabilizantes se dividen según la acción que ejercen:

Químicas: disminuye excesiva plasticidad o modifica su estructura granular. Estos pueden ser: aceites naturales, silicatos de sosa y orina, cal, resina acrílica, yema de huevo, cementos, yesos, resinas

Física: mejora las propiedades físicas de la tierra.

Mecánica: la acción mecánica favorece a la compacidad de la mezcla. Ésta puede ser estática, dinámica o mixta (proyección o amasado). La estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

Ensayos

En este punto se diferenciará los ensayos requeridos para adobe y adobe prensado(BTC) ya que existe una diferenciación en los requerimientos de los mismos.

Ensayo de Compresión Simple

La determinación de la resistencia a compresión simple de los bloques de tierra cruda difiere según la normativa en cuanto a la cantidad y tipo de probetas necesarias para realizarlas, sin embargo, el modo de ensayar las piezas y la maquinaria necesaria para ejecutarlas es la misma. El método de ejecución

según la norma peruana NTE.080 se indica en el Anexo A.

Cabe recalcar que las connotaciones presentes en esta normativa fueron realizadas para ensayar adobes y adobes estabilizados sin comprimir.

La normativa UNE_41410 al ser exclusivamente de adobe prensado o BTC expone lo siguiente para determinar la resistencia a compresión:

Para el cálculo de la resistencia a compresión del BTC, se seguirá el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 772-1:2002 (Métodos para ensayo de Piezas de Albañilería). En este caso el ensayo a compresión simple es similar al mencionado por la normativa peruana, la diferencia es que dicha normativa exige ensayar 6 piezas enteras, es decir, se prescinde del uso de probetas.

Ensayos para determinar la resistencia ante el efecto del agua.

La norma UNE_41410 es la única normativa de las estudiadas que exige ensayos de resistencia para determinar la acción del agua sobre una pieza, estos ensayos son:

Ensayo de humectación

- Se debe tomar dos bloques enteros, usando uno de ellos como referencia.
- Se coloca la cara del bloque que va a ser remojada sobre 3 piezas de apoyo de 3mm de altura. Se añade agua hasta que quede sumergida 10mm. Se mantiene sumergida 30 segundos. Se deja secar al aire hasta igualar al color del bloque de referencia y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo como: grietas aleatorias, hinchamiento, pérdida de capacidad de suelo, penetración de agua en más del 70% de la anchura, pérdida de fragmentos mayores a 50mm.

- Se debe repetir el proceso 6 veces, se consideran bloques aptos a los que después de pasados los 6 ciclos no presenten ninguna condición de

rechazo de las antes mencionadas.

Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

- Se ensayarán al menos dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.
- En la figura 45 se muestra un esquema del equipo a utilizar.
- Procedimiento: Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min a través de un tubo de cristal de \varnothing interior =5 mm, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a 27° respecto a la horizontal. Con una varilla de $\varnothing = 3$ mm, se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.
- Resultados: El Bloque de tierra comprimida (BTC) así ensayado se clasificará en “apto” o “no apto”, según el criterio expresado en la Tabla 9.

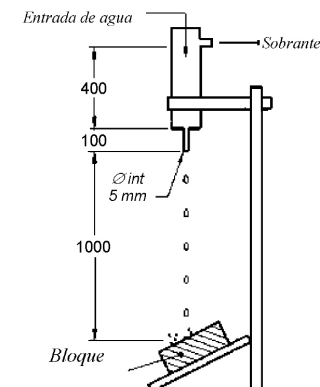


fig 87. Ensayo de Erosión.

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

Tabla 9 - Resistencia a la Erosión, Criterios de Aceptación o Rechazo.

Ensayo de Absorción por Capilaridad(Normativa UNE-EN 41410)

Para el desarrollo de este ensayo se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Se debe ensayar 6 bloques enteros

Se debe emplear el mismo equipo y procedimiento especificado en la normativa UNE-EN 772-11:2001. (Fig. 46)

Para ensayar las piezas se deben conservar por 24 horas como mínimo en el laboratorio, posteriormente se pesa la muestra y se realiza el secado a 70 °C, hasta que la pérdida de masa en 2 pesadas diferentes no supere el 0.1% de la masa total. El tiempo de inmersión de la muestra en agua, debe ser de 10 min +- 2 min. (Normativa UNE 772-11; ctd en Cid,2012). Para el cálculo del coeficiente de absorción “Cb” se emplea la siguiente expresión matemática:

$$C_b = \frac{M_{so,s} - m_{seco,s}}{A_s \times t} \times 10^6$$

Donde,

m so,s masa de la muestra después de la inmersión, en gramos.

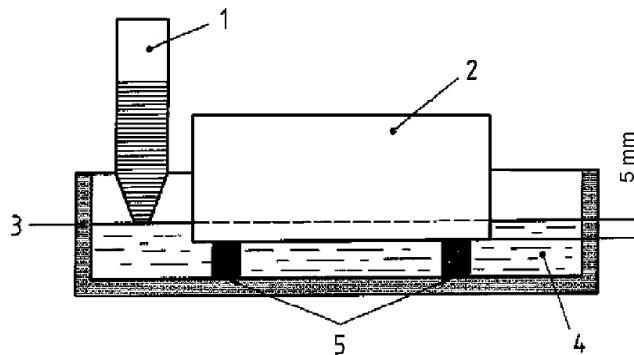
m seco,s masa de la muestra después del secado, en gramos.

As superficie bruta de la cara de la muestra sumergida en agua, en milímetros cuadrados

t tiempo de inmersión. (t= 600 sec.)

La expresión descrita es la equivalente a las empleadas en otras normativas (normativa colombiana NTC 5324, francesa ARSO 683) para el cálculo del coeficiente de absorción Cb, dicho procedimiento exigido en la normativa UNE-EN 41410 se asemeja al realizado para calcular el coeficiente de absorción en la piedra natural y el hormigón celular. (Cid, 2012)

Los procedimientos para realizar los ensayos antes descritos fueron obtenidos de la Normativa UNE-EN 41410, de la misma manera algunas consideraciones no presentes en la normativa fueron obtenidas de la tesis doctoral “Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción”(Cid, 2012).



Leyenda				
1 Depósito	2 Bloque	3 Cubeta	4 Agua Potable	5 Soportes

fig. 88 - Esquema de Ensayo de Capilaridad

Si bien la normativa UNE-EN 41410 solo exige al fabricante que declare el coeficiente Cb y no realiza ningún tipo de valoración para los resultados obtenidas, este coeficiente al ser el equivalente al obtenido por la normativa colombiana NTC 5324 se podría tomar la clasificación que da dicha normativa para los bloques Cb. Misma que se realiza de la siguiente manera:

Bloques que tengan un $C_b \leq 20$ son bloques débilmente capilares

Bloques que tengan un $C_b \leq 40$ son bloques poco capilares

De igual manera otras expresiones propuestas para conocer la absorción por capilaridad buscan conocer el porcentaje de humedad que absorbe el bloque, razón por la cual se ha creído conveniente detallar su fórmula.



$$C_b = \frac{M}{S \times \sqrt{t}} \times 10^6$$

Donde,

m, masa de agua absorbida por el bloque, en gramos

S, superficie de la cara sumergida, en centímetros cuadrados

t duración de la inmersión. (t= 10 min.)

Ensayo de Flexión y Tracción

Según Minke(2001) la resistencia a tracción en las piezas de adobe es irrelevante, ya que los mismos no deben someterse a este esfuerzo. Así mismo la resistencia a la flexión en estado seco del barro es de poca importancia para la construcción de tierra, y esta resulta relevante solo cuando se trata de establecer las propiedades del mortero de barro.

Al conocer dichas valoraciones sobre la resistencia del adobe ante estos esfuerzos, se decidió no ensayar los mismos a la flexión ni a la tracción ya que se considera de poca importancia para el estudio. Así mismo amparados en las normativas de construcción ya estudiadas, ninguna menciona como requisito el estudio de la resistencia ante dicho esfuerzo.

En el estudio de las normativas se tomó en cuenta los aspectos considerados relevantes, con el fin de evaluar la propuesta de mejoramiento que se realizará, el resto de incisos de las normativas estudiadas que no se indican en este apartado serán expuestos en el apéndice A.



1.8 Ventajas y Desventajas del Adobe



1.8 Ventajas y Desventajas del Adobe

El sistema constructivo en Adobe contiene un sin número de ventajas y desventajas, esto depende de bajo que parámetros se juzgue. Después de investigar esta técnica constructiva se ha creído conveniente mencionar las ventajas y desventajas encontradas.

1.8.1 Ventajas

Precio

Como material de construcción se ha encontrado en el precio del adobe una ventaja, ya que si la composición de la tierra es adecuada en el lugar donde se va a realizar la construcción, el material no representaría costo alguno. Esta ventaja se considera solo si se empleará la tierra del mismo lugar donde se va a realizar la construcción, ya que si es necesario transportar material de otros sectores esto representa un costo extra. Así mismo se considera a la tierra como un material económico en la auto-construcción ya que como menciona Siguenza(2014), en el sistema de súper adobe - que consideramos es un sistema constructivo con mampuesto de tierra - el costo de la mano de obra representa un alto porcentaje del costo total de una edificación, por lo tanto en la auto-construcción un muro de adobe representa casi un costo nulo.

Bajo consumo energético

El adobe es considerado un material ecológico ya que para su producción necesita relativamente poca energía para su producción, – comparada con mampuestos empleados comúnmente como el ladrillo cocido de arcilla - de esta manera contribuye a reducir la huella de carbono¹⁰ lo cual representa una ventaja muy importante en un tiempo en donde se menciona mucho la sustentabilidad en la arquitectura. En este punto debemos mencionar que los sistemas constructivos en tierra son “amigables” con el medio ambiente, ya que si una edificación tiene un deterioro grande se la puede demoler y la tierra es fácilmente reutilizable para construir una nueva edificación; en consecuencia se usa menos energía en la producción de materiales.

Facilidad y versatilidad

Al ser el adobe una técnica de construcción tradicional en nuestro medio, el conocimiento del mismo es aceptable – especialmente en el sector rural – es un sistema relativamente sencillo de elaborar y sumado al casi nulo requerimiento de maquinaria sofisticada se configura como una opción asequible en el campo de la construcción.

Materia prima abundante

“En casi cualquier latitud es posible encontrar a poca distancia de la superficie, material adecuado para la construcción.” (Viqueira, 2001), las técnicas para extraer la tierra son bastantes simples y el material extraído de la excavación para los cimientos puede ser empleada posteriormente para la conformación de los mampuestos.

La tierra como recurso formal

Un recurso muy importante en el uso de la tierra radica en su maleabilidad, al adobe se lo puede revocar con mortero hecho de barro. Así mismo se utiliza como recurso de diseño en la construcción de bóvedas y cúpulas eliminando la necesidad del uso de otros materiales y de esta manera se conforma un sistema “auto-portante”.

Cualidades térmicas

Las construcciones de adobe permiten amplios rangos de confort interior, esto se debe a que la tierra tiene una conductividad térmica débil y una capacidad calorífica alta¹¹ razón por la cual retiene el paso del calor. Estas características sumadas a la masividad con la que anteriormente se construían los muros de adobe hacían que retengan calor,” a mayor espesor del muro mayor inercia térmica” es decir, se ralentiza el tiempo de ganancia o pérdida de calor.

10. No existe un concepto claro de la huella de carbono(HdC) sin embargo, según Espíndola & Valderrama(2012), la HdC representa la cantidad de gases efecto invernadero(GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios.

11. La capacidad calorífica se define como la energía necesaria para elevar en 1 grado la temperatura de 1kg de masa. (Blas Martín & Serrano Fernández, 2013)



1.8.2 Desventajas

Permeabilidad

Se debe tener un especial cuidado de las condiciones exteriores que puedan afectar a este sistema, el agua es un elemento del que se debería tener especial cuidado, es necesario proteger las edificaciones con aleros, barreras impermeabilizantes o sobre cimientos para evitar que la lluvia y la humedad llegue a los muros, ya sea esto por contacto directo o por capilaridad.

Baja resistencia sísmica

Como ya se mencionó anteriormente a diferencia de lo que se cree popularmente el sistema constructivo tradicional en adobe no tiene un buen comportamiento ante los sismos. Esto se debe al elevado peso de la estructura y a su baja resistencia ante los esfuerzos laterales. (Blondet & Villa Garcia, 2004)

Altura

Al ser las construcciones de adobe pesadas, en muchos países está prohibida la construcción de los mismos a una altura mayor de 2 pisos. En la norma Peruana E.080 se tienen normadas las construcciones dependiendo de la zona sísmica, la cual puede ser de un máximo de 2 pisos. En el caso del adobe se puede conformar la primera planta bajo este sistema y una segunda conformada por sistemas livianos de bahareque o quincha, para evitar la destrucción total de la edificación ante un evento sísmico.



1.9 Conclusiones

- El adobe ha sido empleado a lo largo del tiempo como una técnica constructiva en todo el mundo, en la actualidad casi el 30% de la población mundial vive en viviendas de tierra siendo este sistema parte de esta gran tradición constructiva.
- Esta técnica y sus procesos de construcción se han mantenido casi intactos, mediante la mejora y perfeccionamiento en las técnicas de construcción de las piezas que lo conforman así como el sistema constructivo en general.
- Los ensayos para determinar la composición del suelo resultan de gran importancia, sin embargo, no siempre existen laboratorios disponibles para realizarlos, siendo así los ensayos de campo alternativas válidas para determinar la composición granulométrica. Al experimentar con estos 2 métodos para conocer la constitución de la tierra, se concluye que los ensayos de campo dan una idea aproximada que permite tomar decisiones, si bien nunca tendrá la exactitud de un ensayo técnico resulta de mucha validez cuando no se tiene un laboratorio próximo.
- Se ha podido observar el gran avance en cuanto a construcciones sismo resistentes se refiere; el uso de refuerzos internos, mallas exteriores, adobes estabilizados – con elementos naturales o artificiales – aportan de manera significativa recursos que mejoran la calidad de las construcciones y su resistencia ante los sismos.
- La creación de normativas en muchos países donde el adobe se constituye como un sistema constructivo de uso común contribuye e incentiva la construcción no solo de esta técnica sino de la tierra como material de construcción.

La construcción en adobe así como la construcción en tierra en general debe ser revalorizada, estas técnicas permiten una reincorporación de los materiales explotados a la naturaleza, se integran al paisaje natural y cultural de los lugares donde se usan por su tradición histórica, tienen un menor coste energético comparado con los sistemas de construcción empleados en la actualidad. Con

esto no se quiere decir que la construcción en adobe y tierra es la solución a todos los malos hábitos constructivos que ocurren hoy en día; no se puede dar la espalda a los avances tecnológicos que se han dado en el ámbito de la arquitectura así como tampoco debemos olvidarnos de las tradiciones constructivas que por muchas razones han permanecido en nuestro medio.

“...Las técnicas nuevas son necesarias pero hay que conservar las técnicas antiguas que reúnen los conocimientos acumulados por los habitantes desde hace siglos para adaptarse lo mejor posible a las condiciones del clima del medio y de modos de vida. No se puede conservar todo, pero hay que adaptar y mejorar los conocimientos acumulados.” (Gandhi, 1981, ctd. en Viqueira, 2001)



CAPITULO 2

ARQUITECTURA VERNÁCULA EN CUENCA



2.1 Arquitectura Vernácula En el mundo

2.1 Arquitectura Vernácula en el mundo

Según la Enciclopedia Universal Libre(2014) la palabra vernáculo - del latín vernaculus, nacido en la casa de uno; proveniente de vern, esclavo nacido en la casa del amo- significa nativo, propio del lugar o país de nacimiento de uno, esto en cuanto a su significado etimológico se refiere, sin embargo, la arquitectura vernácula va más allá de las simples connotaciones relacionadas al modelo físico, debe ser abordado desde su contexto cultural para así entender el devenir de esta arquitectura a lo largo del tiempo.(Pesantez,Gonzalez, 2012), ya que la misma va más allá de intentar teorizar el cómo y porqué se construye de determinado modo, más bien se libera de estas presunciones; existe, toma forma y depende del lugar donde surge, los recursos con los que cuenta, siendo de esta manera respetuoso con el entorno próximo.

En la figura 1 se ilustra la choza del Valle de Jerte - España, situado en el extremo nororiental de Extremadura, este tipo de Arquitectura intenta responder a las necesidades de habitabilidad de los individuos, mismas que utilizan los recursos del lugar como la piedra que se encuentra en las montañas que conforman el valle para realizar la construcción de la vivienda. (Flores del Manzano, F. 1985).

La arquitectura vernácula empieza a tomar interés gracias a una exposición de Bernard Rudofsky "Arquitectura sin Arquitectos" (1965) donde se exponen fotografías de edificaciones propias de distintos países que se insertan en medios naturales. Este libro tuvo gran acogida, según Pesántez&González (2012) se puede considerar este el punto de partida para el estudio e investigación de la arquitectura vernácula"

La Carta de la Arquitectura Vernácula (1992) expone que "el patrimonio vernáculo se compone por un modo de construir emanado por la propia comunidad", este patrimonio consta de prácticas, saberes y oficios transmitidos de manera informal en el devenir del tiempo y por distintas generaciones, de esta manera se propicia un modo de construir por una colectividad, donde se mantiene una coherencia de estilo, forma; respetando tipologías arquitectónicas previamente y más aun tradicionalmente establecidas. (Veleceta, 2008)



fig. 1 - Choza del Valle de Jerte



fig. 2 - Mapa Regional del Ecuador



2.2 Arquitectura Vernácula en Ecuador : Azuay

2.2 Arquitectura Vernácula en Ecuador: Azuay

En la provincia del Azuay específicamente en la ciudad de Cuenca la arquitectura vernácula es particularmente construida con tierra, siendo así el adobe uno de los materiales de construcción derivados de ésta. Dicha técnica constructiva es común en el Azuay, tanto en la zona urbana como en la zona rural (Vintimilla, , 1983). Al ser el adobe un material muy explotado en esta región - se puede tener una base de conocimiento basándonos en experiencias de los moradores, constructores y arquitectos que han experimentado con este material. Es así que podemos conocer sus ventajas, desventajas, particularidades y distintos aspectos de trabajabilidad del sistema. (Caldas, 1942). (fig 3,4)

La ciudad de Cuenca, se encuentra a una altura superior a los 2400m sobre el nivel del mar, en la Zona interandina del Ecuador. La provincia del Azuay consta de diferentes pisos climáticos, desde tropical hasta un clima de páramo en las partes altas, actualmente las temperaturas en esta provincia oscilan entre los 12°C y 20°C. (Pesantez&González, 2012). La Norma Ecuatoriana de la Construcción(NEC) confeccionó un mapa donde se agrupó al país en 6 zonas basándose en el rango de temperatura térmica con datos proporcionados por el INAHMI, en el mismo la región del Azuay se encuentra en un rango de temperatura de 14°C a 18°C, donde existen diferentes pisos climáticos.(fig. 5, 6) Así mismo recoge datos promedio de la temperatura mínima, media y máxima entre los años 2000-2008 donde las mismas se encuentran en 11.04° – 17.41° – 24.49° respectivamente; se menciona el clima y la ubicación de la provincia y no solo de la ciudad ya que la Arquitectura Vernácula en Tierra de Cuenca se desarrolla en todo este entorno y para entenderla se debe mencionar su contexto.

Indicadas las condicionantes presentes en este contexto, la arquitectura vernácula y su construcción debían responder a la necesidad de cobijo con diseños apropiados para defender a sus ocupantes de las inclemencias del tiempo, con el uso de insumos propios del lugar. La localización de las construcciones vernáculas era determinada por paisajes montañosos, de esta manera el clima y el territorio condicionaron el uso de los materiales para la construcción de vivienda: paja, barro y madera. Los páramos localizados en las partes altas de la provincia del Azuay son los que han brindado la paja para la

construcción de las edificaciones; a su vez valles, laderas y terrenos rocosos o terrosos ofrecían el material adecuado para la construcción de edificaciones. (Pesantez &González, 2011)



fig. 3 - Área Urbana: Arquitectura vernácula, barrio El Vecino (Cuenca)



fig. 4 - Área Urbana: Arquitectura vernácula, barrio El Vecino (Cuenca)



fig. 5 - Valle de Yunguilla (piso climático-tropical) fig. 6 - Cuenca (piso climático - templado)



La arquitectura vernácula al constituirse como consecuencia de la forma de vivir de un grupo de individuos, se cree necesario conocer como estos pueblos y/o comunidades se encontraban organizadas, y a su vez como esto influyó en la definición de tipologías de su hábitat. En el 7000 a.C. se produce la evolución del nomadismo al sedentarismo de los habitantes de la región. Los grupos humanos pertenecientes a esta zona se agrupaban en aldeas de hasta 10ha de extensión, sin embargo poco se conoce sobre el desarrollo de la sierra sur ecuatoriana en la denominada fase de Desarrollo Regional (500 a.C. – 500d. C), aunque se puede mencionar que las viviendas en este sector se construían en base a una geometría circular con divisiones interiores (Pesantez &González, 2011).

Posteriormente en el período abarcado entre 500d. C y 1500d. C (época cañari) se concentraron grandes poblados con distribuciones urbanas ordenadas. Los Cañaris se conformaron en Azuay y Cañar, existía la zona Hatun Cañari – lo que ahora conocemos como Ingapirca – donde residía el jefe de la comunidad, con poblados conocidos como señoríos distribuidos en la región, conformándose uno de ellos en lo que actualmente es la ciudad de Cuenca. Posteriormente con la llegada de los incas – última década antes de la llegada de los españoles – llegaron diferentes formas sociales, religiosas y políticas, que influyeron en el desarrollo de la población y su arquitectura. (Guerra, et al, 2007)

En el período Incaico las construcciones de los pueblos pre-hispánicos empleaban la piedra y la tierra como materiales de construcción preferidos, ya que se adaptaban y daban respuesta adecuadamente al clima y condicionantes del terreno. (Pesantez &González, 2011) La piedra se constituyó como el material arquitectónico más notable de los incas, cuya arquitectura imperial estaba compuesta por piedras talladas rectangulares y sin ningún mortero de unión (Espinoza Fernández de Cordova, 2010)(Fig 7). Por otro lado la tierra se utilizó en construcciones no-monumentales – específicamente en la construcción de vivienda – debido a la facilidad de conseguir la materia prima. Los techos de estas viviendas se elaboraban de madera cubierta con paja, las puertas y nichos se configuraban con una geometría trapezoidal, (Fig 8). En cuanto a la distribución de la vivienda, existe poca información, sin embargo existe evidencia de espacios de un solo ambiente.(Pesantez &González)



fig. 7 - Construcción Monumental Inca , Ingapirca



fig. 8 - Vivienda Cañari-Inca

Posteriormente en la época de la colonia, a su llegada los españoles encontraron en la parte andina técnicas constructivas como el bahareque, adobe y la construcción en piedra, siendo métodos de construcción familiares a los de Europa, sin embargo nuevos sistemas como el tapial fueron introducidos por los conquistadores. La vivienda colonial supuso un enfrentamiento entre nativos y colonos, ya que los 2 grupos humanos vivían bajo sistemas socioculturales distintos, que se desarrollaron durante miles de años. En un inicio el diseño y materiales de las edificaciones pertenecientes a este medio fueron los establecidos por los indígenas. No obstante con el paso del tiempo los colonizadores introdujeron nuevos materiales a los ya existentes en los sistemas constructivos tradicionales.(fig. 9) Esta nueva concepción del espacio y la forma de habitar influyen directamente en el diseño del espacio – la forma de la vivienda en planta en la época Cañari era ovalada y se obligó a construirla de forma cuadrada – la casa colonial tenía como elemento central el patio, el ingreso a la vivienda se realiza por un eje de circulación conocido como zaguán, forjándose como un elemento de transición entre el espacio exterior e interior. En cuanto a materiales de construcción el uso de la teja, la cal; dan cuenta de esta influencia que imitaba a construcciones de Castilla. De igual manera los colonizadores se encargaron de adiestrar a los indígenas con nuevas técnicas de construcción como bóvedas y arcos donde el aglutinante principal fue la cal. Consecuentemente este nuevo conocimiento quedó asimilado por los habitantes del sector, mismo que se usó en construcciones futuras, las cuales ahora se conoce e identifica como construcciones vernáculas.(fig 10,11) (Calderón, 2008)



fig. 9 - Vivienda Vernácula, casa con patio



fig. 10 - Vivienda Vernácula, sector Narancay



fig. 11 - Vivienda Vernácula



Finalmente la arquitectura en la época republicana (1830) se mostró cargada de decoración, aunque mantenía paradigmas arquitectónicos pertenecientes a la colonial (uso de patio como centro de la casa). En esta época se advirtió una influencia principalmente Europea – particularmente Francia en nuestro medio – donde se desarrolló una serie de amañamientos como el uso de tallados y adornos interiores y exteriores en las edificaciones. De cierta forma en este período la arquitectura vernácula en el Ecuador fue perdiendo parte de su identidad, sin embargo, a pesar de estas influencias foráneas que desde la colonia fueron introducidas se construyó una identidad, ya que como define Calderón (2008) “... *el Ecuador construía una identidad, sustentada siempre en la memoria, consciente o inconscientemente, la arquitectura reflejaba una tradición cultural enriquecida con el paso de los años y alimentada por agentes externos, arquitecturas foráneas, culturas ajenas, valiéndose de la apropiación y aclimatación, haciendo más evidente nuestro mestizaje, cultural, social y arquitectónico*”.

La arquitectura vernácula debe respetar y saber reconocer el entorno y cultura de un lugar en el cual se va a implantar la arquitectura, utilizar los recursos que este presenta, causando el mínimo impacto al medio ambiente. La misma está en constante cambio y desarrollo. “*La arquitectura vernácula evoluciona en función de cambios culturales, sociales, económicos y materiales*” (Carta de la Arquitectura Vernácula, 1992)

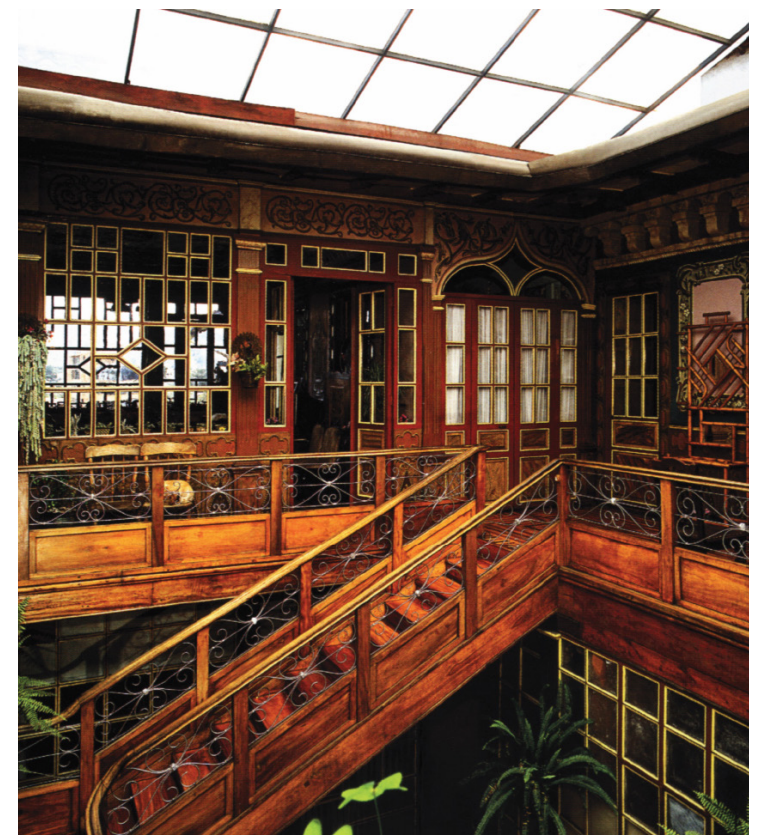


fig. 12a - Vivienda Republicana



fig. 12b - Vivienda republicana, patio



fig. 12c - Vivienda republicana, Hotel Santa Lucía, Cuenca



2.3 Fabricación de Adobe en Azuay

2.3 Fabricación del Adobe

Las técnicas de construcción vernáculas “*un modo de construir emanado de la propia comunidad*”.

Se considera pertinente dirigirse a un sector en donde se fabrique el adobe por métodos tradicionales, Con la finalidad de conocer el proceso de producción.

El Cantón de Girón se encuentra a 40km de la ciudad de Cuenca, lugar donde el Sr. Luis Rumipumba elabora piezas de adobe, el mismo que cuenta con 7 años de experiencia, dichos adobes se emplean para construcciones en la ciudad de Cuenca y el cantón Santa Isabel.

Cabe recalcar que al documentar el proceso de producción del adobe no se tendrá injerencia alguna en las fases de fabricación del mismo, con el fin de conocer exactamente su confección.

2.3.1 Preparación de la tierra

La selección de la tierra se realizó por métodos empíricos, se extrae una cantidad de tierra mínima del sector y según la persona encargada de la producción de los bloques mediante el tacto y visualización del color de la tierra se puede conocer si este material es adecuado para la elaboración del adobe, basándose en prácticas adquiridas a lo largo del tiempo, gracias a una tradición familiar, en la cual se transmiten los conocimientos de padres a hijos, donde se obtiene experiencia para la posterior fabricación. (fig. 13)

Posterior a esta selección se procede a cavar un pozo, el cual se lo llena de agua y se deja por un período de 24 horas. Pasado este tiempo se procede a batir la tierra, donde se agrega paja a la mezcla de barro y se continúa el moldeado por un tiempo mínimo de una hora. Este proceso se realiza con el uso de una retroexcavadora con el fin de tener una mayor producción en un menor tiempo. (fig. 14)



fig. 13 - Período de Putrefacción de Suelo.



fig. 14 - Mezclado manual

2.3.2 Dosificación y Elaboración

Este método es enteramente empírico en el mismo no se hace dosificación alguna en la mezcla, es decir, no se agrega arcilla o arena para estabilizarla ya que según las comprobaciones visuales del productor de adobe esta tierra es apta para la realización de las piezas.

Al tener la mezcla se deja reposar por un período mínimo de 8 días con el fin de obtener una masa en estado de putrefacción, ya que se cree que esto le da mayor consistencia a la composición. Posterior a esto se realiza la elaboración del adobe en los moldes. Según González & Pesantez(2012) el uso del estiércol o guano para la dosificación del adobe antiguamente se constituyó como un material común en la elaboración del adobe en este medio, sin embargo se ha perdido gradualmente a tal punto que para la fabricación de estos adobes ni siquiera se considera su uso.

Se emplea un molde de 20cm. x 18cm. x 40cm., el cual se moja antes de utilizarlo. Se coloca la mezcla de barro en el molde la cual se compacta de forma manual hasta llegar a su tope (fig. 15). Posteriormente se hace un orificio en el centro de la mezcla ya colocada en el módulo, esto para introducir la fibra vegetal(paja). Se quita el exceso de barro ya sea manualmente o usando un elemento de madera que deje la superficie lisa, en este caso puntual se lo hace manualmente.

Para finalizar se desprende el molde, se debe tener especial cuidado en no modificar la forma del adobe, quedando así lista la pieza. (fig.16)

2.3.3 Secado

El bloque debe pasar por un período de secado que se realiza en 2 etapas; la primera en la cual debe reposar por una semana en el mismo lugar donde se realizó, posteriormente se debe apilar los adobes y secarlos siempre a la sombra con el fin de que no sufran agrietamientos por el excesivo calor. Esto por un período de una a tres semanas, ocupando así el secado en total de dos a cuatro semanas. (fig. 17)



fig. 15 - Fabricación del adobe.



fig. 16 - Adobe previo al proceso de secado.



fig. 17 - Secado de Piezas de Adobe.

2.3.4 Estabilización Física del Adobe Tradicional

Después de realizar los ensayos de granulometría e índice de plasticidad con los suelos del sector de Baños, se pudo conocer que el porcentaje de arena y arcilla-limos están en un 31% y 69% respectivamente. Como ya se ha mencionado en la investigación previa, un suelo apto para construir adobes debe tener un mínimo de 15% de arcilla, así mismo según datos de algunos autores el contenido de arcilla promedio que se maneja se encuentra del 25% al 45%, por lo tanto se debe estabilizar esta tierra con el fin de obtener un suelo óptimo y conseguir una mayor resistencia a la compresión.

Para la elaboración de los adobes tradicionales, al tener un suelo de consistencia arcillosa se procedió a agregar arena a la misma, - con el fin de estabilizar su granulometría -finalmente la dosificación elegida para la elaboración de los adobes es 60% de arena y 40% de arcilla-limos. Al momento de realizar la dosificación mediante el agregado de arena a la mezcla se debe tomar en cuenta el contenido de arcilla presente en el mismo, ya que como mencionan Siavichay&Narvárez(2010) la arena que se comercializa en la provincia del Azuay cuenta con un porcentaje de arcilla por lo cual se tiene que realizar un ensayo granulométrico de esta antes de proceder a la dosificación. Posteriormente al tener la mezcla de barro se realizara los adobes con el método aprendido en el Cantón de Girón – se realiza el mismo proceso de confección y se usó el mismo agregado vegetal(paja) – con el fin de comparar la resistencia a compresión del adobe realizado mediante la *estabilización física* y el adobe realizado de manera tradicional con una dosificación empírica. (fig. 18a, 18b, 19, 20)



fig. 18a - Dosificación para adobes, tierra Sector Baños.



fig. 18b - Dosificación para adobes, tierra Sector Baños.



fig. 19 - Moldeado de adobe.



fig. 20 - Secado de Bloque de Adobe.

1. La estabilización física persigue la mejora de una muestra de suelo mediante el control de su granulometría.



2.4 Ensayo de Resistencia

2.4 Ensayos de Resistencia

Para esta investigación consideramos importante mencionar las capacidades de la tierra como material para la construcción. La resistencia a compresión de elementos secos elaborados a base de tierra (bloques de adobe) depende de la distribución granulométrica de sus componentes, contenido de agua presente al momento de hacer la dosificación y de un correcto secado de la pieza.

Según estudios realizados por la FEB no existe correlación entre la cohesividad de los elementos con su capacidad de resistencia a compresión. (Minke, 2001). El mismo autor menciona que la resistencia a tracción de estos elementos es de poca importancia ya que *“las estructuras de tierra no deben someterse a tracción”*.

Ensayo de Compresión Simple

Este ensayo nos permite determinar la resistencia a la deformación de un adobe al momento de aplicar un esfuerzo de compresión. La resistencia a la compresión de la unidad de Adobe (fig.21) se realizará siguiendo la normativa Peruana E.80 para adobes tradicionales y la normativa UNE 41410 para bloques de tierra comprimido especificada en la sección 1.4.

Se realizará el ensayo de compresión especificado en la normativa con el fin de conocer la capacidad físico-mecánica de las piezas fabricadas e identificar si la estabilización empleada en la elaboración del adobe mejora la resistencia.

$$P = \frac{F}{A}$$

P= resistencia a compresión en kg/cm²
 F= carga aplicada
 A= Area de cara de adobe Ensayada

Según la normativa Peruana se deben ensayar un mínimo de 6 muestras, y el promedio de estas corresponderá a la resistencia a compresión. Se ha procedido a ensayar muestras de adobe realizadas con tierra procedente del sector Girón y muestras realizadas con tierra del sector Baños con dosificaciones ya especificadas anteriormente.

En cuanto a los resultados obtenidos se ha obtenido una mayor resistencia a la

compresión con el adobe realizado de manera tecnicada correspondiente a la muestra con tierra del sector de Baños(6.86kg/cm²), sin embargo, en ninguno de los 2 casos esta resistencia llega al mínimo permitido por la norma peruana E.080 para construcción en adobe.



fig .21 - Ensayo de Compresión Simple de Adobes

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Ninguno		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
40 %		60 %		6.95 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
4315.95	4101.78	4882.4	4165.95	4351.78	4782.4
Carga Promedio			Resistencia		
4433.38 kgf			6.86 Kg /cm ²		

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Girón		Ninguno		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
53.67%		46.33%		15.94%	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
3720.4	3100.1	3416.28	3660.4	3260.1	3260.1
Carga Promedio			Resistencia		
3412.26 kgf			5.28 Kg /cm ²		

Tabla 1. Ensayo de Compresión simple de Adobes



2.5 Estudio de Casos Ejemplares



2.5 Estudio de Casos Ejemplares

Después de realizar el estudio del adobe como material de construcción es de vital importancia entender su sistema y de esta manera poder aplicar estos criterios en un anteproyecto. Para este efecto se realizarán estudios de casos ejemplares, los mismos que estarán enfocados en la investigación de viviendas en cuanto a tecnología constructiva se refiere, es decir, se valorará las soluciones constructivas y el uso de materiales empleados en las edificaciones.

Para la elección de los casos ejemplares se mostrará una tabla con criterios que permite valorar la pertinencia del estudio de una edificación, y de esta manera optar por una que cumpla los mismos.

Después de investigar distintas viviendas vernáculas en la ciudad de Cuenca se encontró 2 edificaciones que cumplieron con los criterios señalados.

El primer caso ejemplar a estudiar será la vivienda de la familia Bravo construida en el año 2010, la misma emplea el sistema constructivo de adobe, específicamente adobes prensados.

Los mismos que fueron fabricados con material del lugar mediante el uso de una prensa hidráulica emplazada en el sector de la construcción. Este caso de estudio es importante ya que emplea la estabilización mecánica en los bloques de tierra cruda para mejorar las características técnicas del material. Cabe recalcar que se valorará el uso de esta máquina para la elaboración de la

propuesta de mejoramiento de los adobes y su viabilidad, siendo esta otra de las razones por la cual se ha elegido este caso.

La segunda vivienda a estudiar será la denominada “Casa de la loma”, esta vivienda fue construida en los inicios del siglo XX, su sistema constructivo emplea adobes tradicionales producidos con tierra del lugar. La edificación fue restaurada en el año 2014 con la peculiaridad que se combinó el sistema tradicional con materiales empleados en la construcción contemporánea como el vidrio, porcelanato, acero etc.

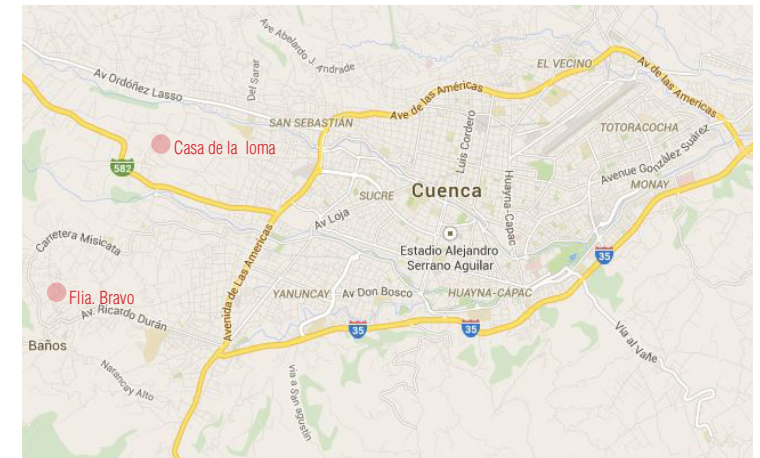


fig. 22 Ubicación de los casos de estudio en el mapa de la ciudad de Cuenca

Criterio de Valoración	
Arquitectura Vernácula - Azuay	Realizado el estudio de arquitectura vernácula, es conveniente potenciar el conocimiento de la misma mediante el estudio de la tecnología constructiva empleada en este medio.
Sistema Constructivo en Bloques de Tierra Cruda (Adobe)	Las construcciones a estudiarse deberán contener en las soluciones constructivas de su mampostería bloques de tierra cruda, con el fin de valorar las connotaciones presentes por el uso de las mismas.
Vivienda Unifamiliar	Se tomarán en cuenta para la elección, viviendas unifamiliares ya que el anteproyecto a elaborar en el capítulo 4 se desarrollará con esta condicionante.
Innovación Tecnológica	Si bien la innovación puede tener un grado de subjetividad en su concepto, para reducir juicios subjetivos sobre el concepto de innovación tecnológica, se tomará en cuenta viviendas que contengan soluciones alternativas a las empleadas en la construcción vernácula pero que a su vez cumplan con los conceptos estudiados en la sección 2.1.

Tabla 2 Criterios de Elección para Estudio de Casos Ejemplares

2.5.1 Vivienda Bravo Iñiguez

La vivienda de la familia Bravo Iñiguez ha sido desarrollada mediante un Sistema Constructivo porticado con estructura de madera, la misma que emplea como recubrimiento para los muros bloques de tierra comprimido(BTC) o adobe prensado y ladrillo artesanal. fig(23,26)

Los adobes prensados (BTC) como recubrimiento de la vivienda fueron confeccionados con tierra del lugar, se pudo conocer que para la dosificación de la misma se estabilizó el adobe mediante el uso de una mezcla con 10% de cemento, y después se procedió a prensarlo en una maquina hidráulica desarrollada por el dueño de la vivienda y montada en el lugar de construcción. fig(24,25)

Fue constatado el proceso de producción con esta máquina y se conoció la capacidad de producción de bloques de tierra comprimido, las mismas que rondan las 100 piezas por hora, al ser un proceso mecánico y semi-industrializado se puede obtener un ahorro significativo en el costo de la vivienda, esto debido a que la maquina se encuentra en el mismo lugar de construcción y se usa la tierra del sector.



fig. 24 Maquina para la Elaboración de BTC



fig. 25 Maquina para la Elaboración de BTC



fig. 23 Fachada Oeste



fig. 26 Fachada Este

DATOS GENERALES	
Sistema Constructivo	Madera y Adobe Prensado
Arquitecto	Arq. Diego Pezantes
Año	2009-2010
Dueño	Ing. Santiago Bravo
Ciudad/País	Cuenca, Ecuador



- 1. SALA
- 2. COMEDOR
- 3. COCINA
- 4. LAVANDERÍA
- 5. SS.HH
- 6. JARDIN
- 7. BAÑO
- 8. DORMITORIO

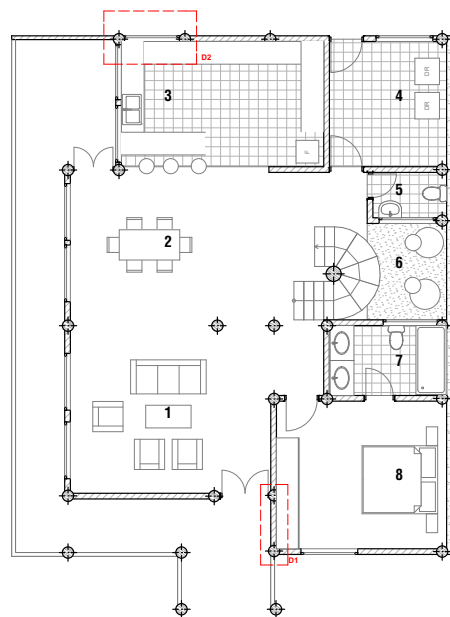


fig. 27 Planta baja

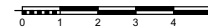
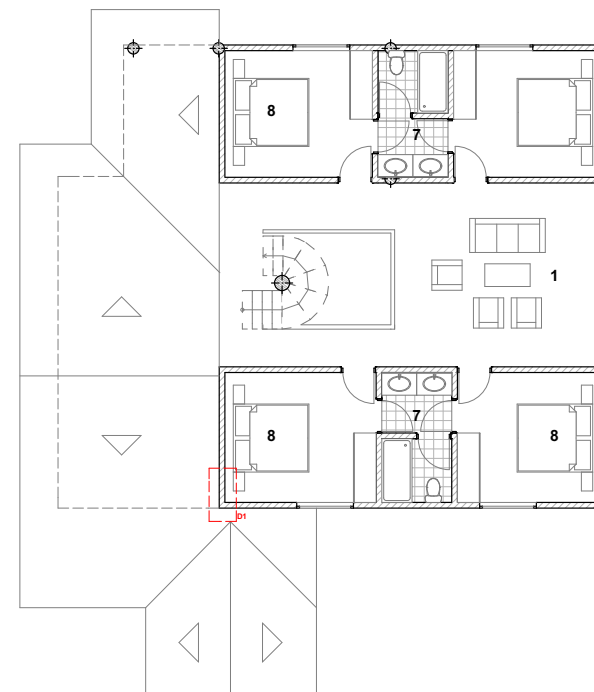


fig. 28 Planta alta

Esta vivienda cuenta con una solución genérica para las uniones de los elementos estructurales, se pudo conocer que la estructura de madera esta formada por troncos de Eucalipto(fig. 29), los mismos que fueron extraídos de un bosque cercano. Si bien la unión de las piezas de madera es parecida(unión a media madera y clavos), las mismas no tienen un diámetro similar, esto debido a que no son piezas estandarizadas y fueron extraídas del bosque antes mencionado. Para el montaje de estas piezas se usó una grúa artesanal elaborada por el dueño de la vivienda esto con el fin de optimizar el tiempo de montaje dado el peso considerable de algunas vigas de madera. (fig. 30, 31)

Después de estructurar la vivienda se usó como muros de cerramiento bloque de tierra comprimida, los mismos que como ya se mencionó fueron fabricados en el sitio.

Los BTC usados para esta vivienda cuentan con vanos en su parte central, con el fin de estructurar un muro sismo-resistente. Sin embargo para esta construcción se tomo la decisión de usarlo como un material de recubrimiento más no como sistema portante del mismo, por consiguiente no se hizo uso de las mencionadas varillas de refuerzo ni se procedió a estructurar un sistema con criterios de sismo-resistencia.



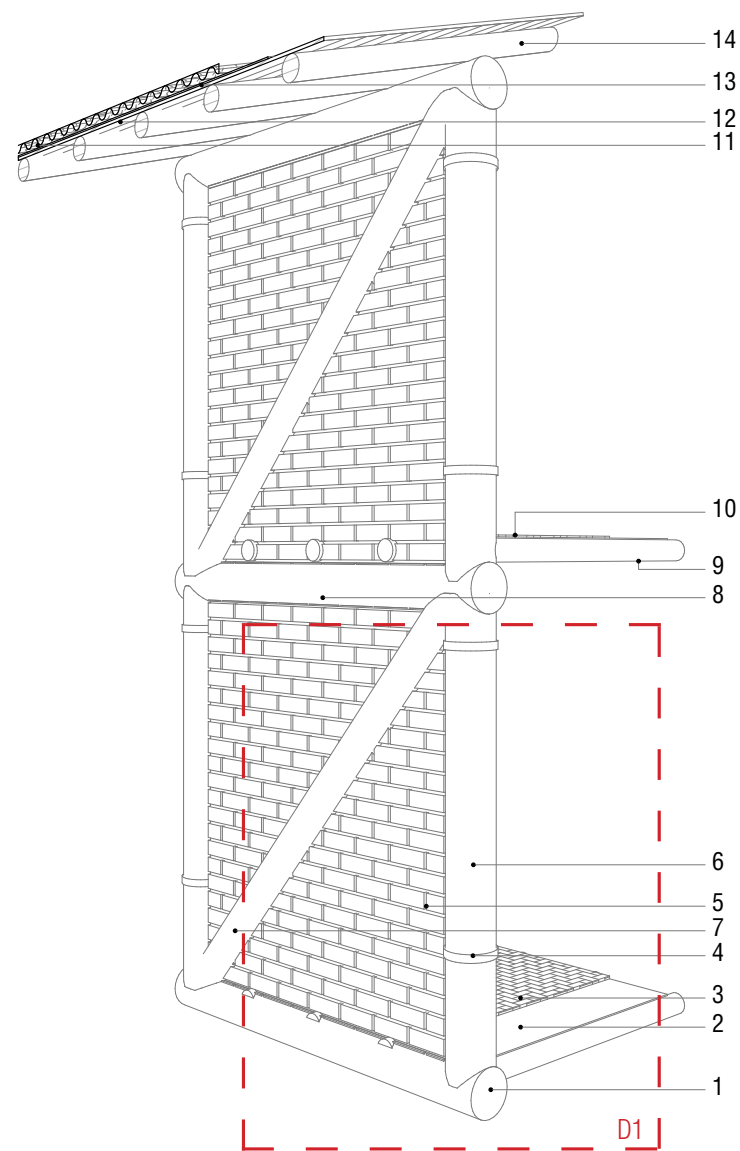
fig 29 Estructura de la Vivienda



fig 30 Montaje de Estructura de Madera



fig 31 Montaje de Estructura de Madera



2. Losa de hormigón e=12cm
3. Ladrillo artesanal e=2cm
4. Anillo de acero (suncho), Ø 40.5 cm, 5mm x 50mm
5. Adobe prensado, estabilizado 10% cemento, 15cm x 10cm x 30cm, Mortero 1:3 cemento
6. Columna de madera, Ø 40 cm, eucalipto
7. Diagonal de madera, Ø 20 cm, eucalipto
8. Viga o solera, Ø 40 cm, eucalipto
9. Viga de madera, Ø 20 cm, eucalipto
10. Losa de hormigón 240 kg, recubrimiento ladrillo artesanal
11. Teja española
12. Duela de madera, eucalipto, 12cm x 150 cm x 1,5 cm
13. Lamina impermeabilizante (chova)
14. Viga estructura cubierta, Ø 20 cm, eucalipto

fig. 32 Detalle 01



fig. 33 Aleros



fig. 34 Diagonales eucalipto



fig. 36 Detalle 02 Proceso de Construcción

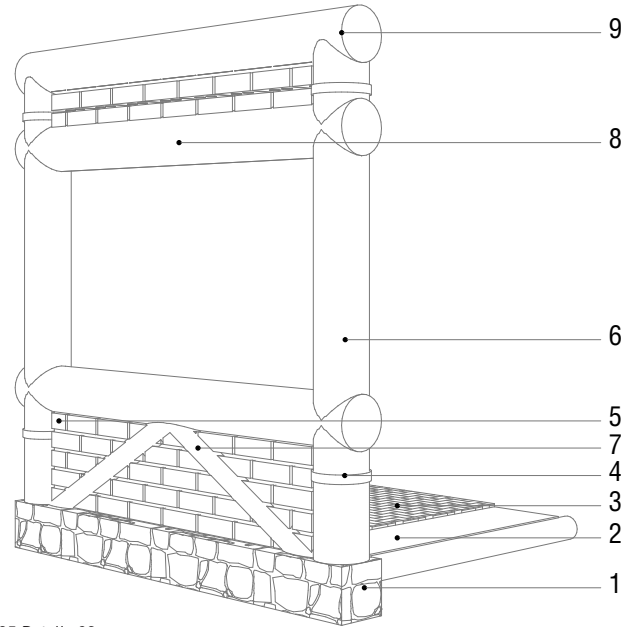


fig. 35 Detalle 02



fig. 37a Detalle 02 Construido



fig. 37b Detalle 02 Construido

1. Sobrecimiento de hormigón ciclópeo, 60% piedra, 40% hormigón
2. Losa de hormigón e=12cm
3. Ladrillo artesanal e=2cm
4. Anillo de acero (suncho), Ø 40.5 cm, 5mm x 50mm
5. Adobe prensado, estabilizado 10% cemento, 15cm x 10cm x 30cm, mortero 1:3 cemento
6. Columna de madera, Ø 40 cm, eucalipto
7. Diagonal de madera, Ø 40 cm, eucalipto
8. Dintel, Ø 40 cm
9. Viga o solera de madera, Ø 40 cm, eucalipto

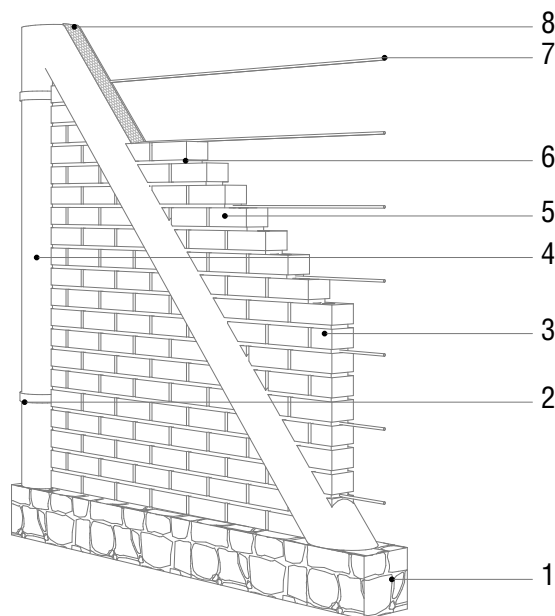


fig. 38 D1



fig. 40a Muro Terminado de Adobe Prensado



fig. 39 Proceso de construcción de Muros



fig. 40b Muro Terminado de Adobe Prensado

1. Sobrecimiento de hormigón ciclópeo, 60% piedra, 40% hormigón
2. Anillo de acero (suncho), Ø 40,5 cm, 5mm x 50mm
3. Adobe prensado, estabilizado 10% cemento, 15cm x 10cm x 30cm
4. Columna de madera, Ø 40 cm, eucalipto. Diagonal de madera, Ø 40cm, eucalipto
6. Mortero 1-3 cemento
7. refuerzo horizontal (Chicote), Ø 10mm, cada 3 hiladas
8. Maya de gallinero, 13mm

Después de conocer las particularidades del sistema constructivo desarrollado para esta vivienda podemos decir que se construyó siguiendo muchas de las recomendaciones que se dan en el “Manual de edificaciones Antisísmicas de Adobe” (E.80), la correcta elección de la tierra para la producción de los adobes y su acertada dosificación para conseguir una resistencia adecuada, así como soluciones para evitar el contacto de humedad con los muros (sobrecimiento, aleros mínimo de 90 cm) dan cuenta de una correcta construcción con adobes de tierra comprimida (BTC). Sin embargo la misma cuenta con problemas o presenta patologías debido a algunos errores al momento de su construcción las cuáles se describirán a continuación:

Al ser esta vivienda una construcción de Adobes Estabilizados - bloques de tierra comprimido más específicamente - el tiempo de secado de los bloques es mínimo, si bien no existe una norma que indique el tiempo de secado óptimo, el mismo se diferencia del tiempo de secado mínimo de los bloques de adobe común (3 a 4 semanas). En esta vivienda se conoció por parte del constructor que el tiempo de secado de las piezas antes de usarlas fue nulo, inmediatamente después de su producción se pasó a la construcción de las paredes, por lo tanto se infiere que esta es la causa del agrietamiento de uno de sus muros (fig. 41), debido a la contracción de la pieza al momento de secarse. (Minke, 2001)

Otra patología presente de suma importancia es el inadecuado uso de la madera que forma la estructura de la vivienda, la misma que como ya se mencionó fue extraída de un bosque de Eucalipto perteneciente al dueño de la vivienda, aquí el problema radica en el poco tiempo de secado que tuvo la madera antes de su uso. Si bien esta fue tratada y tuvo un baño de malation¹⁰ y brea hasta su saturación para evitar el ingreso de polillas, esta al momento de la construcción tuvo un alto contenido de humedad lo que puede repercutir en la resistencia de la misma, y puede producir grietas en los muros debido a la retracción de los elementos. Esto se dedujo fácilmente ya que el diámetro de los sunchos¹¹ colocados al momento de la construcción rodeaban perfectamente la pieza sin dejar espacios, sin embargo ahora 2 años después de la construcción los mismos difieren en gran medida del ancho de los elementos estructurales (columnas y vigas) (fig. 42).



fig. 41 Fisura pared



fig. 42 Anillo de acero (Sincho)

También observó que existe una falla de albañilería, esto debido a que las juntas realizadas con mortero de cemento 1:2 tienen una dimensión de 3,5cm la cuál es considerablemente mayor a la dimensión común(2,5cm según la normativa Peruana E 80) (fig. 43).

Así mismo la vivienda no está construida en su totalidad con bloques de tierra comprimida, ya que por problemas en la producción de los mismos se decidió terminar los muros de recubrimiento con bloques huecos de arcilla cocida (fig. 44).

Para finalizar se pudo valorar que la virtud presente en la construcción de esta vivienda radica en el uso de bloques de tierra comprimida(BTC) fabricados mediante el uso de una maquina hidráulica y como insumo para la fabricación de los mismos se utilizó la tierra del sector donde se construyó la vivienda consiguiendo así gran provecho y eficiencia tanto económica como energética para la producción de los mismos.



fig. 43a Junta sobredimensionada



fig. 43b Unión entre bloques de tierra y bloques de arcilla

2.5.2 Loma House

Loma house está ubicada en la Parroquia de San Joaquín, zona agrícola de la ciudad de Cuenca,

El Sistema Constructivo utilizado en esta vivienda es el adobe en sus muros de cerramiento y estructurado con madera de eucalipto.

La vivienda data de principios del Siglo XX ya que no se cuenta con ningún registro documentado, pero según los antiguos dueños tiene aproximadamente 100 años de construcción. Fue restaurada en el año 2014 por el Arq. Iván Andrés Quizhpe.

El factor más importante por el cual se escogió esta vivienda radica en el uso del sistema constructivo en adobe tradicional - para este estudio es necesario conocer las viviendas de adobe elaboradas bajo los parametros de la que puede ser considerada como Arquitectura Vernácula de la cual ya se hablo anteriormente - ya que los adobes con los que se construyó la vivienda fueron elaborados aproximadamente 100 años atrás, según los antiguos propietarios.

Las técnicas empleada tanto para la protección de los muros ante las inclemencias del tiempo, así como las soluciones constructivas empleadas en la restauración cumplen con algunos de los criterios presentes en normativas internacionales que se pueden tomar en consideración para nuestro estudio, como son las recomendaciones de la norma NTE E 080.

En la restauración de la vivienda se reutiliza adobes extraídos de antiguos muros, para levantar nuevos muros o para algunos que se encontraban deteriorados

Como recubrimiento en las paredes se usó un mortero de tierra al cual se le adicionó un impermeabilizante en la mezcla, técnica que como se pudo constatar es eficiente en la impermeabilización de los muros.



fig. 44 Fachada sur antes de la restauración



fig. 45 Fachada sur



fig. 46 Fachada este

DATOS GENERALES	
Sistema constructivo	Adobe tradicional
Arquitecto	Arq. Iván Andrés Quizhpe
Año de construcción	1920 aproximadamente
Año de restauración	2014
Dueño	Familia Quizhpe
Ciudad / país	Cuenca / Ecuador



fig. 47 Antes de la restauración, patio interno



fig. 48 Antes de la restauración, fachada este



fig. 49 Antes de la restauración, patio interno



fig. 50 Antes de la restauración, patio interno

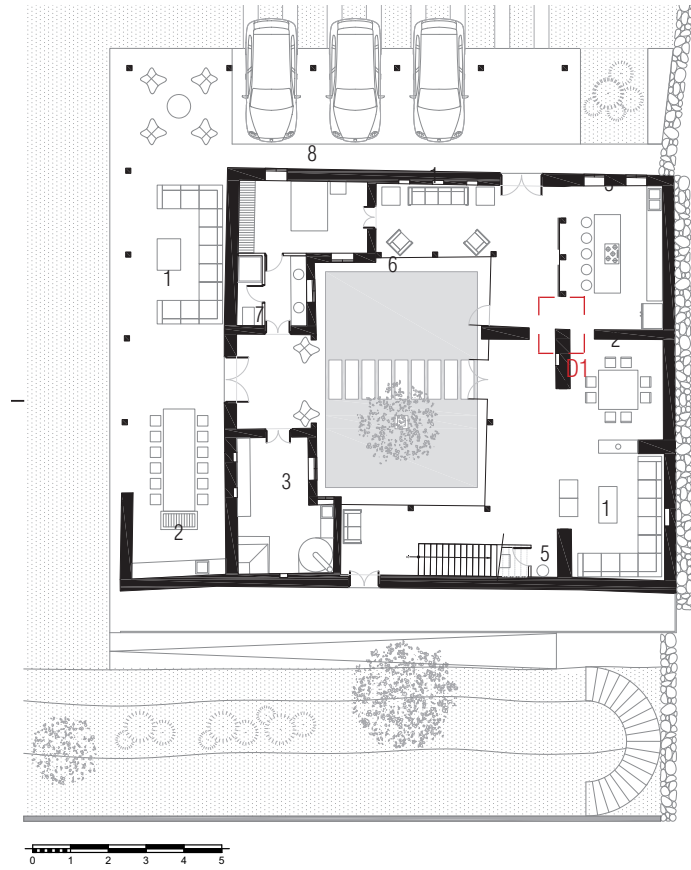


fig. 51 Planta baja

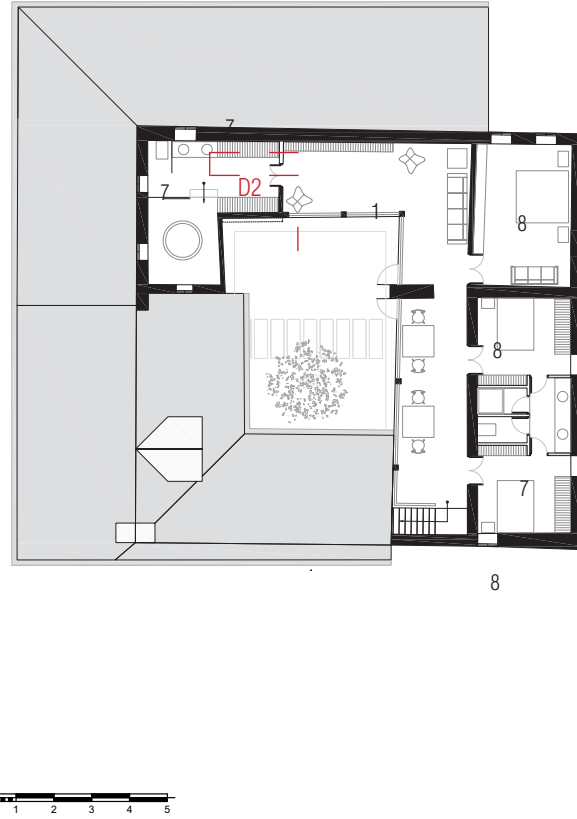
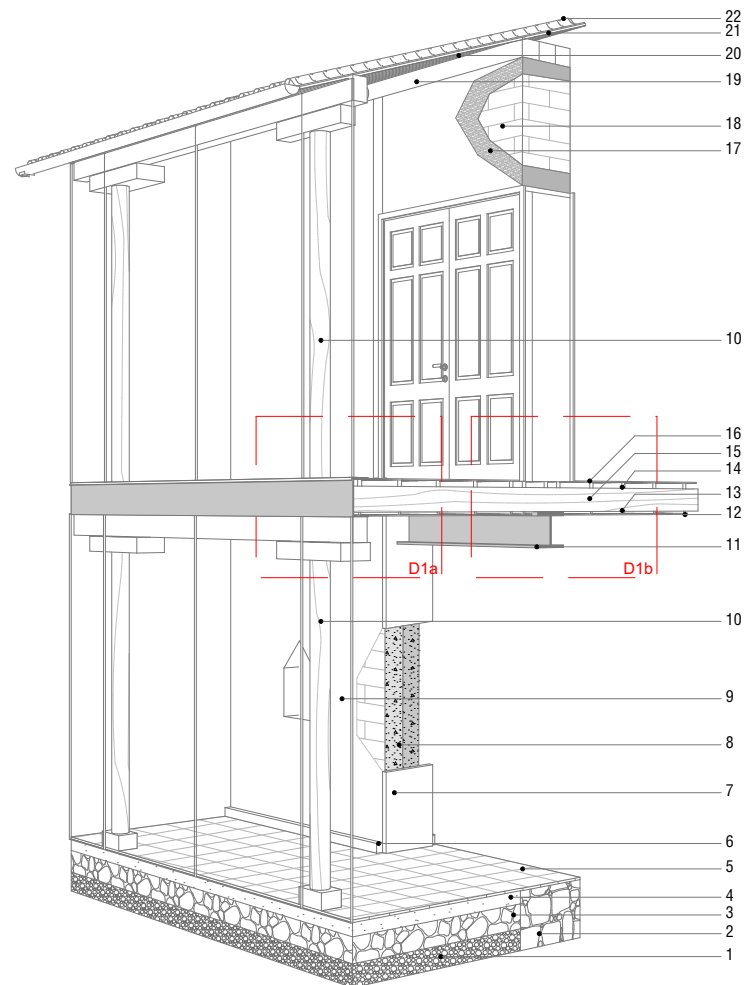


fig. 52 Planta alta

1. SALA
2. COMEDOR
3. COCINA
4. LAVANDERÍA
5. SS.HH
6. JARDIN
7. BAÑO
8. DORMITORIO



1. Suelo compactado
2. Cimiento hormigón ciclópeo, 60% piedra, 60cm
3. Piedra canto rodado, e=20 cm
4. Losa 240 kg, e=10 cm
5. Piso ladrillo artesanal
6. Sobrecimientos, hormigón ciclópeo, 60% piedra
7. Tablón de eucalipto, 300cm x 57cm x 2cm
8. Columna de hormigón armado, 20 x 20 cm
9. Empañete con impermeabilizante e=3mm
10. Columna madera, eucalipto Ø 20 cm
11. Perfil metálico, tipo I, 30 x 20 cm
12. Cielo raso, duela de madera, pino, 220 x 7.5 x 1.5 cm
13. Tirillas madera, eucalipto 2 x 2 cm
14. Tiras madera, eucalipto 4 x 5 cm
15. Viga de madera para entrepiso, eucalipto, 20 x 20 cm
16. Duela de madera, pino, 220 x 7.5 x 1.5 cm
17. Revoque (barro, guano de caballo y paja), e=2 cm
18. Muro de adobe tradicional, 54 x 24 x 10 cm
19. Viga de madera para cubierta, 20 x 20 cm.
20. Encarrizado
21. Latón de zinc
22. Cubierta de teja española

fig. 53 Detalle 1



fig. 54a exterior patio



fig. 54b Interior, muro con refuerzo

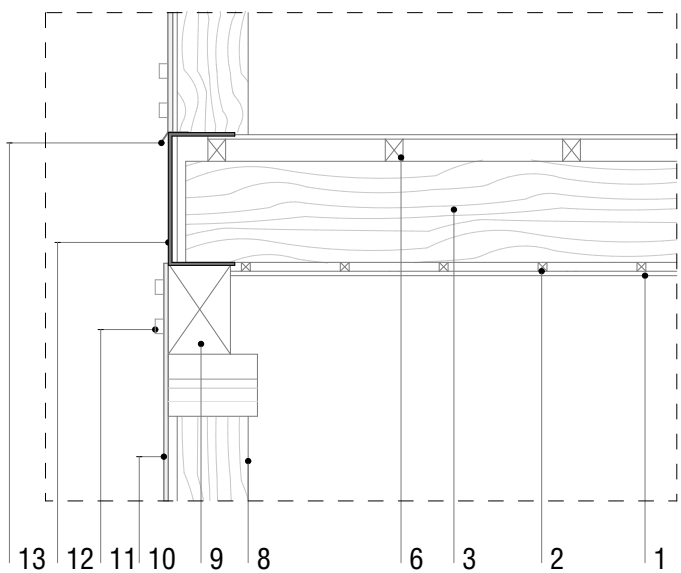


fig. 55 Detalle 1-A

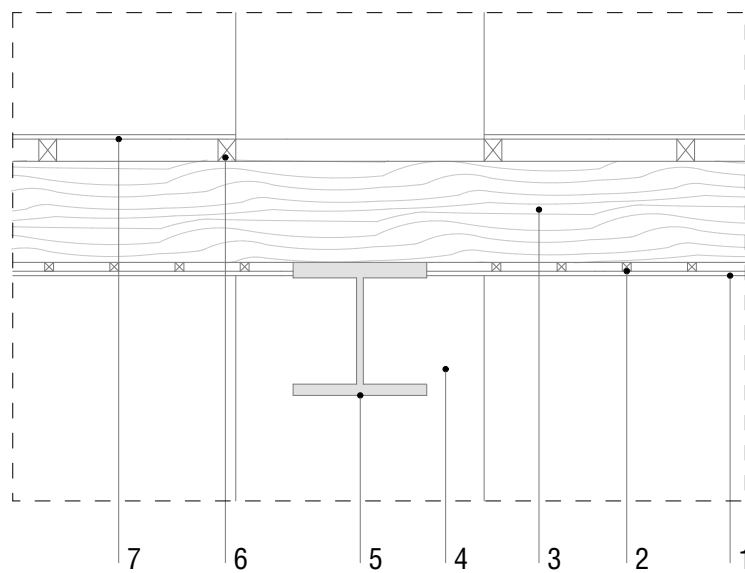


fig. 56 Detalle 1-B



fig. 57a Exterior patio



fig. 57b Vidrio exterior

1. Cielo raso, duela de madera, pino, 220 x 7.5 x 1.5 cm
2. Tirillas madera, eucalipto 2x2 cm
3. Viga de madera para entepiso, eucalipto, 20 x 20 cm
4. Muro de adobe tradicional, 54 x 24 x 10 cm
5. Perfil metálico, tipo I, 30x 20 cm
6. Tiras madera, eucalipto 4x5 cm
7. Duela de madera, pino, 220 x 7.5 x 1.5 cm
8. Columna madera, eucalipto Ø20 cm
9. Viga de madera 20x16 cm, eucalipto
10. Vidrio templado e=4mm
11. Soporte con cabeza en cono, con banda protectora de goma
12. Perfil C, 300x150x4 mm
13. Goterón, aluminio 50x50x1 mm

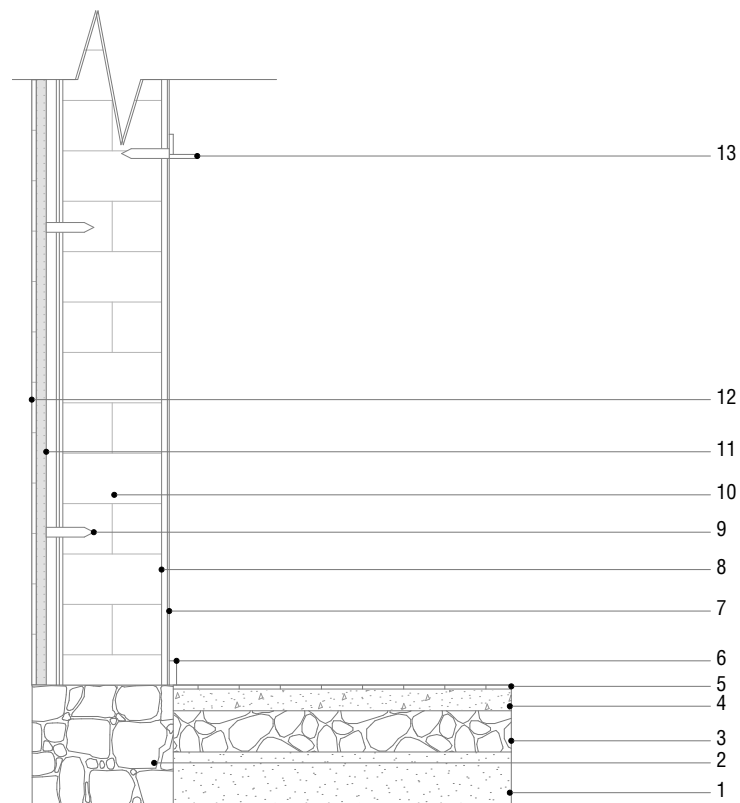


fig. 58 Detalle 2



fig. 61 Goterón.

1. Suelo compactado
2. Cimiento hormigón ciclópeo, 60% piedra, 60cm
3. Replanteo de piedra canto rodado, e=20 cm
4. Losa hormigón, e=10 cm
5. Piso ladrillo artesanal
6. Rastrera, ladrillo artesanal (fachaleta) 26 x 10 x 15 cm
7. Empañete con impermeabilizante e=3mm
8. Revoque (barro, guano de caballo y paja), e=2cm
9. Estaca, 20 cm x 5 cm
10. Muro de adobe tradicional, 54 x 24 x 10 cm
11. Panel de fibrocemento, 240cm x 120cm
12. Revestimiento cerámico
13. Goterón ladrillo artesanal (fachaleta) 26 x 10 x 15 cm

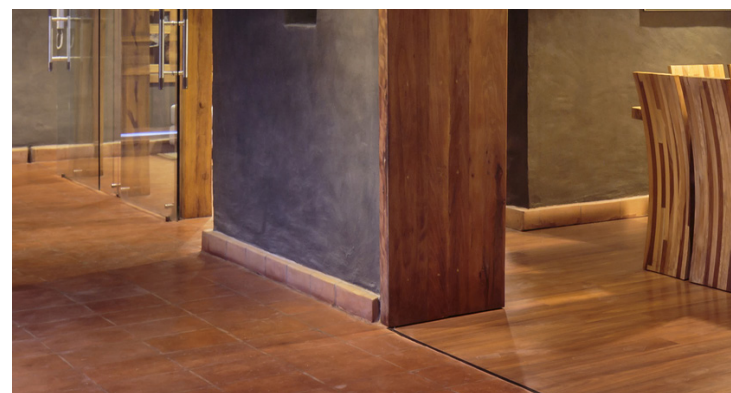


fig. 59 Fotos Rastrera



fig. 60 Pieza cerámica en muro de abobe (cocina)

Pese a ser una vivienda que lleva construida aproximadamente 100 años, cuenta con un sistema constructivo en adobe que cumple con las normativas expuestas en el Capítulo I como por ejemplo podemos citar: encuentros de muros en T, L y X con refuerzos correctamente solucionados que responden a la norma NTE E 080.

Sin embargo los problemas a causa de la humedad son críticos ya que en la norma NTE E 080 se menciona: *“La humedad y la erosión es el problema más importante en la construcción en Tierra”*, por esta razón hay que tener en cuenta algunos problemas y recomendaciones del constructor, los cuales fueron trabajadas en la restauración y serán de suma importancia como factores a considerar para nuestro estudio.

A causa de la dirección de la lluvia y el viento, la estructura y muros de una de las fachadas fueron afectadas al quedar demasiado expuestas a la intemperie, piezas estructurales (vigas de madera y bloques de adobe) se deterioraron parcialmente y otras fueron completamente destruidas, por lo que fue necesario utilizar estructuras de refuerzo en estos puntos críticos y en otros casos se decidió a cambiar la totalidad de las piezas. Además la utilización de un impermeabilizante fue obligatorio ya que los aleros eran sumamente cortos para el alto de la vivienda oponiéndose a lo que nos dice la norma NTE E 080 en sus recomendaciones de protección de una vivienda en adobes “aleros amplios”.

Para unir las piezas nuevas como son cerámica, porcelanato con los muros se utilizó planchas de yeso cartón como se muestra en el detalle D2 (fig. 58), ya que el adobe no permite la correcta adherencia de la pieza.

Fue necesario reforzar la estructura con vigas metálicas ya que las luces que cubrían los apoyos eran demasiado grandes tomando en cuenta las cargas de la planta alta, ya que según la norma NTE 080 el ancho óptimo de vanos debe ser máximo de 1/3 de la longitud del muro arriostrado, en este caso lo mismo no se cumplía por lo que se procedió al reforzamiento.



fig. 62 Estructura metálica de Refuerzo



fig. 63 Estructura madera



2.6 Conclusiones

La Arquitectura Vernácula en el austro está marcada y condicionada por los pisos climáticos en donde se encuentra, la ciudad de Cuenca y la provincia del Azuay en donde se enmarcó la investigación cuenta con una variedad de pisos climáticos desde el clima tropical (Valle de Yunguilla) hasta clima de páramo(Cajas) la particularidad presente radica en el uso de la tierra como material preferido para la construcción, siendo el adobe en el cantón Cuenca el sistema constructivo predilecto en cuanto a construcción tradicional se refiere.

La fabricación de bloques de adobe en lugares cercanos a la ciudad se realiza mediante métodos empíricos y como se pudo constatar existe poco o nulo interés de la gente por conocer procesos tecnificados que mejoren la calidad del producto. En cuanto a la resistencia a la compresión de los bloques se puede evidenciar una resistencia aceptable de las piezas realizadas por métodos empíricos(suelo de Girón), sin embargo, al realizar el proceso de fabricación con un método tecnificado en la elaboración de la mezcla, se logró una mejora de más de $1\text{kg}/\text{cm}^2$ en la resistencia de la pieza. . Se pudo verificar que los suelos con altos contenidos de arcilla, no son aptos para la fabricación de adobe. Para tener un adobe con una resistencia aceptable¹ el contenido de arena debe ser mayor al contenido de arcilla y limos. Como se especifico varios autores consideran que el porcentaje de arcilla debe ser mínimo de un 15% y no debería sobrepasar el 40%.

En los estudios de casos se alcanzó un conocimiento sobre la construcción vernácula en Cuenca, siempre enfocada al desarrollo constructivo de las mismas. Las viviendas estudiadas muestran como ha avanzado el sistema constructivo tradicional del adobe en la contemporaneidad. Nuevos métodos de fabricación de las piezas como los bloques de tierra comprimido que pueden ser considerados como una manera de estabilizar el adobe para mejorar sus propiedades mecánicas, así como el uso de materiales contemporáneos en la restauración de viviendas antiguas, dan cuenta de la experimentación que se realiza con este sistema constructivo en el cantón, pese a esto, se encuentran pocos casos en la ciudad donde la arquitectura en tierra es objeto de estudio y mejora ya que como se menciona anteriormente los sistemas constructivos en tierra no gozan de una buena reputación.





CAPITULO 3

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EN
ADOBE (BLOQUES)**



3.1 Conceptos de mejoramiento



3.1 Conceptos de mejoramiento

Etimológicamente este término está formado a partir de la raíz indoeuropea MEL que significa crecer, fuerte, grande; más el sufijo IOR empleado en latín con el concepto de superioridad. (Real Academia Española 2014).

Como menciona Harrington (1993), *“mejorar un proceso, significa cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable; qué cambiar y cómo cambiar depende del enfoque específico del empresario y del proceso”*. Si partimos de estos conceptos básicos, podemos definir al mejoramiento como una solución que haga que las cualidades de un objeto o situación sean superiores.

Los seres humanos con su cualidad evolutiva siempre tienden a buscar consciente e inconscientemente el mejoramiento, ya sea en el ámbito personal, emocional, espiritual, económico, profesional, etc...; la condición humana en la mayoría de los casos no acepta el conformismo, por lo que siempre esta buscando ser “mejores”. Es por eso que cuando se encuentran en situaciones difíciles o en crisis es cuando el instinto de supervivencia y evolución trabajan con mayor eficiencia, es así que nace filosofía japonesa KAIZEN, que surge a finales de la segunda guerra mundial como la única alternativa para resurgir (Aguilar-Morales & J.E., 2010)

Mejora continua

Al terminar la segunda guerra mundial, la industria japonesa era desastrosa, ni los mismos orientales querían sus productos faltos de calidad y diseño. En 1949 se formó la JUSE (Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros), con la tarea de desarrollar y difundir las ideas del Control de Calidad(CC) en todo el país. El Dr. William Edwards Deming era uno de los grandes expertos de control de calidad que había desarrollado una metodología basada en métodos estadísticos, y fue invitado a Japón para enseñar el control de calidad estadístico en seminarios de ocho horas organizados por la JUSE. En 1954 es invitado por este instituto Joseph M. Juran para introducir un seminario sobre la administración del control de calidad. Esta fue la primera vez que el CC fue tratado desde la perspectiva general de la administración. Los aportes de Juran junto con los de Deming fueron tomados en Japón, para reestructurar y reconstruir su industria,

e implantados como lo que ellos denominaron “Administración Kaizen”. La mejora continua se transforma en la clave del cambio, en la principal estrategia del management japonés, y comienza a reemplazar en ese sentido a la inspección tradicional de productos. (MASAAKI IMAI, 1998).

“Una mejora continua se refiere al hecho de que nada puede considerarse como algo terminado o mejorado en forma definitiva” (Aguilar-Morales & J.E., 2010). El Mundo es un lugar de cambio constantes, de desarrollo y busca de mejora, por lo que no se puede pensar que las personas, objetos, ideas, cualidades, etc... , llegaron a su máxima mejora. Para aplicar estos conceptos nos tenemos que basar en una serie de criterios los mismos que dependerán del producto, organización o idea.

Es necesario que se encuentren un área de mejora, en la cual se pueda aplicar los elementos y las técnicas que menciona Kaizen en su teoría (Aguilar-Morales, J.E., 2010); con el fin de aplicar los criterios básicos de mejora continua se enfocará únicamente en los puntos pertinentes a las mejoras de un objeto, esto se tomará en cuenta y se aplicará con la finalidad de mejorar el bloque de adobe.

Elementos y técnicas, teoría de Kaizen

- Mantener y mejorar estándares
- Enfoque a procesos
- Experimentación y observación
- Pequeñas mejoras
- Decisiones basadas en datos
- Alcances limitados y temporales
- Técnicas
- Estabilización
- Cero defectos y eliminación de problemas
- Control de calidad
- Control visual
- Técnicas de calidad

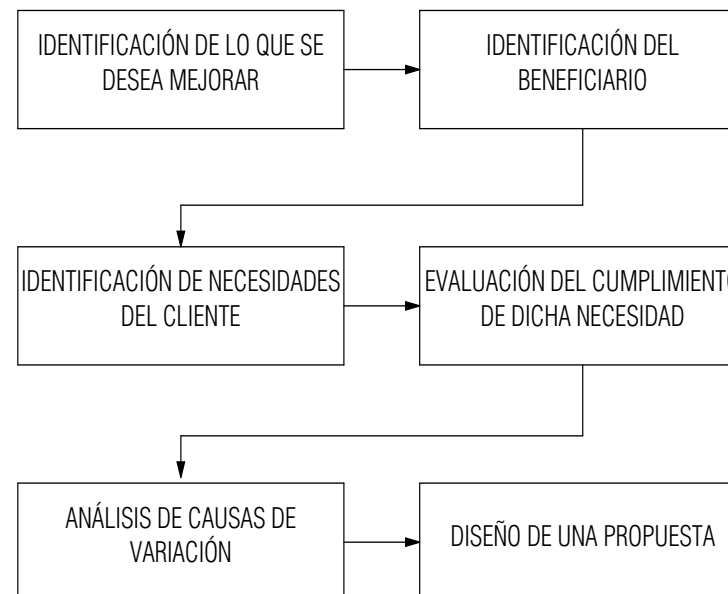


3.1.2 Conceptos de mejoramiento del Adobe

Cuadros de comparación

Estos conceptos son aplicables a distintos campos, dependiendo del ángulo con que se aborde, Aguilar-Morales & J.E.(2010) desarrollo un diagrama donde ilustra el proceso de mejora para un producto.(diag. 1)

La teoría Kaizen expresa que *"nada puede considerarse como algo terminado o mejorado en forma definitiva"*, razón por la cual se puede aplicar nociones, elementos y técnicas del mejoramiento en el bloque de adobe que se busca mejorar. Aclarado esto se puede decir que el adobe no debe considerarse como algo terminado o mejorado en forma definitiva y que la mejora continua de este material alienta a buscar soluciones diferentes a las ya existentes para mejorar las propiedades técnicas del material.



diag. 1 - Mejora Continua de un material o producto

Con el fin de entender el concepto de mejoramiento o estabilización en el adobe se ha recogido 2 conceptos básicos mencionados por Rodríguez & Saroza(2006) los mismos que se basan en distintos autores para realizar ésta clasificación:

Adobe Simple, constituido por unas adecuadas proporciones de arena, arcilla, fibra orgánica y agua.

Adobe Estabilizado, donde dada la escasa resistencia frente a la humedad que presenta el adobe simple, se le añade distintos elementos, llamados estabilizante, para mejorar sus propiedades.

A estos conceptos básicos se puede agregar que la estabilización busca mejorar las características del barro en general, el mejoramiento del adobe debe perseguir la optimización del material (barro) para condiciones específicas. Existen estabilizantes como la celulosa que aumenta la resistencia a la compresión y tracción pero los mismos reducen la cohesión (Minke, 2001), razón por la que se considera imperativo el conocimiento del problema a resolver y así aplicar un tipo de estabilización o mejoramiento que encuentre un equilibrio entre todas las condicionantes.

Con el fin de estabilizar un material para condiciones específica, es obligatorio el conocimiento de los problemas a resolver. Se encontró diversos problemas de suma importancia en los cuales intervenir para mejorar las características del barro, estos son: la porosidad, la permeabilidad y el enlace entre partículas o cohesión.

El tratamiento de la porosidad busca reducir las variaciones de tamaño por el acción del agua (Seisdedos & López , 2010), esto contribuye a las fisuras causadas por retracción del material, (Minke, 2001). En cuanto a la permeabilidad busca la mejora ante la erosión del material producida por los efectos del agua y el viento. Y finalmente la cohesión del barro incide en la resistencia mecánica a compresión del material.

Con el afán de explicar las mejoras existentes a los mencionados problemas -en cuanto a las características del barro para la conformación del bloque se refiere - se dividirá los métodos de estabilización en 3 tipos: Estabilización Mecánica, Estabilización Física y Estabilización Química. Esta división fue tomada de una investigación realizada para la mejora de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) (Rigassi, Vincent, CRATerre-EAG), sin embargo al revisar diferentes autores (Minke, 2001; Achenza & Fenu, 2006; Calderón, 2013) la clasificación mencionada es aplicable para todos los tipos de mampuestos de tierra.

Estabilización Física

La estabilización física de la tierra para la conformación del adobe, se realiza mediante la intervención en la composición del suelo, es decir, se interviene en su distribución granulométrica para optimizar sus características técnicas (Calderón Peñafiel, 2013). A continuación se describirán mejoras que se pueden obtener con el empleo de este tipo de estabilización.

Reducción de la Retracción

Al añadir arena a la mezcla y disminuir el contenido relativo de arcilla se reduce el promedio de retracción de la pieza al secarse, según Minke(2001), al mezclar una muestra de barro con un 50% de arcilla y 50% de limo, aumentando arena gradualmente se puede llegar a un promedio de retracción que se acerque a 0. Teniendo un promedio de retracción 0,1% con un contenido de arena del 90%.

Incremento de la Cohesión:

Normalmente, el barro como material de construcción no requiere una cohesión específica, sin embargo, si se identifica que la misma no es suficiente existen distintas formas de aumentar la misma. Con el incremento del contenido de arcilla se aumenta de manera sencilla la cohesividad de una pieza, de la misma manera se puede mejorarla con un correcto mezclado y curado. Estudios realizados en la FEB indican que al mezclarse el barro durante 10 minutos en laboratorio, la cohesividad aumenta en un 57%.

Incremento de la resistencia a Compresión:

La resistencia a compresión del adobe depende principalmente de su distribución granulométrica, compactación dinámica y contenido de agua (Minke, 2001), razón por la cual será conveniente nombrar la estabilización física como un método válido para incrementar la resistencia del bloque. El análisis realizado en la sección 2.4 muestra que al estabilizar la mezcla con una correcta estabilización física se pudo obtener una mejora en la resistencia a la compresión simple del 20%. La normativa Peruana E.080 para construcción en adobe menciona la resistencia a compresión simple mínima permisible en 10kg/cm² aunque de acuerdo a la norma Alemana DIN 18954 es de 3 a 5kg/m². (Minke,2001)

Estabilización Química

La estabilización química pretende mejorar las características técnicas de la tierra, mediante el uso de elementos llamados estabilizantes o aglomerantes, que sean capaces de cambiar las propiedades del suelo, erigiendo de esta manera compuestos que sean estables, con la finalidad de optimizar su comportamiento (Montes J. L., 2011).

Se debe considerar que los elementos que se agreguen en la mezcla van a reaccionar distinto, al depender de la composición química de la tierra, por ejemplo: el cemento y el bitumen como estabilizantes son buenos para barro con poca arcilla, así mismo la cal es buena para barro arcilloso, sin embargo, esto variará según el tipo de tierra (Minke, 2001). Es de suma importancia realizar un análisis previo de la tierra en donde se pueda conocer el tipo de partículas que lo conforman, el tipo de suelo y los elementos que se van a utilizar para conseguir los componentes estables.

Elementos para una estabilización química

Existen una amplia variedad de productos de tipos orgánicos e inorgánicos tales como: productos asfálticos, cal, cloruro de sodio, cloruro de calcio, escorias de fundición, uso de polímeros, hules de neumáticos, cemento, aceites naturales,



savias naturales, látex, silicatos, orina, resinas acrílicas y epoxicas, yema de huevo, productos puzolánicos, yesos, fibras vegetales. (Gallegos, S.F).

Además de los estabilizantes químicos, uno de los factores de mayor importancia para desarrollar los procesos de optimización del barro es el agua. Como menciona Carcedo Fernández (2012) *“El agua es el agente que permite que las reacciones químicas de los estabilizantes se generen y el elemento que hace que la tierra gane plasticidad, básicamente mediante su absorción por parte de la arcilla. Por lo tanto el agua es el componente que activa las propiedades de todos los demás elementos para producir la pieza de tierra”*.

Para la elección del estabilizante químico que se empleará como material de mejoramiento es necesario conocer los problemas que se quiere resolver – porosidad, permeabilidad o enlace entre partículas – para así realizar un correcto uso de estos compuestos en los suelos.

Estabilización Mecánica

La estabilización mecánica busca mejorar la cohesión de partículas de barro por medio de la compactación, en el caso del adobe este mejoramiento se obtiene con el uso de prensas ya sea manual o mecánica, mismas que al realizar el proceso de compactación de la pieza consiguen una optimización en el rendimiento, especialmente a compresión. Los mampuestos realizados bajo este proceso son conocidos como bloques de tierra comprimida, sin embargo revisando el concepto de adobe estabilizado, se considera que el bloque de tierra comprimida o la compactación del bloque se enmarca dentro de dicha estabilización, así mismo, Rigassi(1985) mencionan que este tipo de mampuesto se deriva del llamado bloque de tierra moldeado o adobe, por lo tanto es pertinente su estudio y se lo tendrá presente como una opción para mejorar el adobe tradicional.

Adobe Prensado

El uso de este tipo de estabilización tuvo un punto de inflexión en el año de 1952, debido al invento de la máquina para compresión manual conocida como

CINVA-RAM. La popularidad de esta máquina y su simple mecanismo produjo un antes y después en lo que se conoce como adobe prensado, compactado o bloques de tierra comprimida, ya que este invento se empezó a usar alrededor del mundo. (Calderón Peñafiel, 2013)

Al ser un mampuesto de tierra cruda su proceso de fabricación es similar al del adobe simple, ya que se realiza el proceso de identificación de la tierra, preparación del material, mezclado, prensado y secado del mismo. Siendo la diferencia con el adobe simple, el prensado de la pieza para conseguir estabilizarla, y así conseguir mayor resistencia a la compresión. (Seisdedos & López, 2010).

Si bien la estabilización mecánica conduce a un aumento en la resistencia a compresión de la pieza, esta también depende del tipo de mezclado, su duración y la proporción de agua usada en el proceso de mezclado. Al revisar investigaciones de distintos autores tales como Carcedo (2012), donde la compactación del bloque aumenta la resistencia a compresión; existen otras investigaciones como las realizadas por la FEB con adobes fabricados a mano donde existe una mejora de la resistencia en un 19% en comparación con piezas realizadas con prensas mecánicas que ejercen presiones de 20kg/cm². Así mismo Minke(2001), menciona que *“...la creencia de muchos investigadores y profesionales que la compresión en prensas de bloques de suelo conduce al incremento de la resistencia a compresión es solo cierta en algunos casos”*.

Prensado

Minke(2001), menciona que prensar el barro mediante fuerzas estáticas para incrementar la resistencia a compresión suele ser menos efectiva que batir o compactar la misma durante el vibrado (fuerzas dinámicas). En la tabla 1 se puede ver la variación en la resistencia a compresión luego de compactar estática y dinámicamente una muestra de barro.

Para cada proceso de compactación es necesario conocer el contenido óptimo de agua para el cual la mayor densidad seca es alcanzada. Para conseguir dicho contenido de agua es necesario realizar un ensayo, mismo que se cumple con

el uso del martillo y cilindro Proctor. En la sección 1.3.2 se especifica los pasos a seguir para realizar dicho ensayo bajo la norma ASTM.

Si el contenido de agua óptimo es imprescindible para efectuar la compactación de la tierra este no conduce a la máxima resistencia a compresión. Estudios indican que el llamado contenido óptimo de agua en la práctica debería ser tomado como el contenido mínimo, se observó que bloques de tierra prensados con un contenido de agua 10% mayor al óptimo obtienen mejores resultados. (Minke, 2001)

Estabilización en adobe prensado

Si bien el prensado es considerada un tipo de estabilización para los bloques de tierra, a esta se puede adicionar estabilizantes químicos para optimizar su funcionamiento. Sin embargo para la estabilización de los adobes prensados debemos tener presentes distintas condicionantes a las presentes en las piezas estabilizadas sin comprimir.

La estabilización de los adobes sometidos al proceso de prensado no es obligatoria (esto aplica a los adobes simples también), ya que los mismos se comportan de manera aceptable ante las condicionantes presentes en el exterior, sin ninguna estabilización. Es ilógico estabilizar el bloque para mejorar su impermeabilización, si sabemos que el mismo estará ya protegido por medio de aleros o si estas conforman muros internos. La estabilización busca optimizar el material para condiciones específicas. (Guillaud & Joffroy, 1995)

En el proceso de investigación se ha encontrado que los estabilizantes para el adobe prensado no difieren en su tipo con los estabilizantes utilizados para el adobe simple. El uso y adición de arena y gravas, resinas y productos químicos, así como cemento y limos están presentes en la estabilización de adobes simples y compactados en prensas. De los estabilizantes investigados el cemento se posiciona como el material más utilizado en la estabilización, ya que su adición mejora la resistencia a compresión y optimiza su comportamiento ante el agua (Guillaud & Joffroy, 1995). De igual manera otros autores (Calderón Peñafiel, 2013; Bestraten & Hormias, 2012; Maldonado Ramos, et al., 2001;)

han realizado investigaciones donde se estudia la optimización de la resistencia a compresión simple de las piezas de tierra mediante el uso de distintos estabilizantes y lo combinan con la compactación; como resultado de estas experimentaciones, se obtuvieron resistencias significativamente superiores a las que se pueden conseguir estabilizando adobes simples sin ningún proceso de compactación.

Barro	Peso específico (kg/m ²)	Vibración (l/min)	Fuerza de compresión (l/min)
Limoso	2003	0	3.77
	1977	1500	4.11
	2005	3000	4.17
Arenisco	2023	0	2.63
	2009	1500	2.91
	2024	3000	3.00

Tabla 1. Resistencia a compresión luego de compactación estática y dinámica.

TIPOS DE ESTABILIZACIÓN	METODOS
FÍSICA	REDUCCIÓN DE RETRACCIÓN
	INCREMENTO DE COHESION
	INCREMENTO DE RESISTENCIA A COMPRESION
QUÍMICA	ADICIÓN DE ADITIVOS MINERALES
	ADICIÓN DE PRODUCTOS SINTETICOS
	ADICIÓN DE PRODUCTOS PUZOLANICOS
	ADICIÓN DE POLIMEROS
	ADICIÓN DE GEO POLIMEROS
	ADICIÓN DE FIBRAS VEGETALES
MECÁNICA	PRENSADO
	VIBRACIÓN

Tabla 2. Resistencia a compresión luego de compactación estática y dinámica.



3.2 Elección de técnica de estabilización para de mejoramiento del adobe



3.2 Elección de técnica de estabilización para mejoramiento del adobe

Al conocer los 3 métodos de estabilización (física, química y mecánica) posibles para mejorar la calidad del adobe y sus características técnicas se tomará como base la estabilización mecánica (compactación) para realizar la propuesta de mejoramiento. Esto debido a que después de lo mencionado en el apartado 3.1.2, se conoció que la compactación puede ser un método válido para mejorar la resistencia a la compresión de una pieza, de hecho investigaciones recientes así lo avalan (Arteaga Medina, et al., 2011). Si bien como ya explicamos Minke(2001) indica que “...esto es cierto solo en algunos casos y no puede ser generalizado.”, creemos que el correcto uso de la compactación y su aplicación, si se toma en cuenta las condicionantes presentes (tipo de tierra, humedad, uso de estabilizantes, tipo de compactación) conducen a un significativo aumento de la resistencia, que no podría ser conseguida sin el prensado de la pieza.

A su vez se conoció que en el proceso de estabilización mecánica se emplea estabilizantes químicos en la mezcla (antes de realizar la compactación), con el fin de mejorar las propiedades técnicas del producto final (Minke, 2001), razón por la cual, a más de la estabilización mecánica se utilizará compuestos químicos para optimizar el producto final.

En la investigación efectuada se documentó gran cantidad de procesos donde se emplea la estabilización química por medio de cemento (Calderón Peñafiel, 2013; Bestraten & Hormias, 2012; Gatani, 2000). Al usar este compuesto se logra mejorar significativamente la resistencia a compresión, así como la permeabilidad de la pieza, además es el estabilizante más común para optimizar las propiedades de la tierra (bloques suelo-cemento); motivo por el cual se decidió tomar este agregado más no para su experimentación – debido a la gran cantidad de investigaciones realizadas con este compuesto – sino para comparar la energía incorporada de este material con el resto de estabilizantes químicos y así calificar el impacto ambiental de dichos materiales.

Elección de estabilizante químico

Al no existir parámetros o métodos normados que mencionen como elegir un estabilizante se ha creído conveniente estudiar distintas condicionantes y

desarrollar una metodología con el fin de elegir de manera objetiva la materia prima que se empleará en la propuesta de mejoramiento de los bloques de tierra cruda.

Se evaluarán los estabilizantes mediante parámetros y realizará fichas para cada material mencionado en la sección 3.3 donde se dará un puntaje en cada uno de los apartados que se indicarán a continuación, basados en los estudios realizados con cada material.

Estos parámetros no fueron elegidos aleatoriamente y responden a distintas condicionantes, su enfoque estudia la elección de materiales que generen un bajo impacto ambiental, un bajo consumo energético en su producción y que su uso sea económicamente viable para la construcción en grandes cantidades.

En la investigación realizada para elaborar el método de elección del material se pudo encontrar un esquema para la elección de un estabilizante óptimo para la construcción en tierra (Barbeta Isolá, 2002). Este proceso de elección toma en cuenta todas las posibilidades de estabilización (mecánica, física, química) para así elegir el método adecuado. De igual manera menciona parámetros o “razones ecológicas” para el uso de un estabilizante químico. Para el método de elección a desarrollarse se ha creído oportuno tomar algunos de los parámetros utilizados por este autor, ya que este estudio se enfoca en conseguir materiales que generen el menor impacto ambiental de ser posible. No obstante para la elección de la mejora de las propiedades mecánicas se tomó partido por la optimización y búsqueda de mejoras técnicas en la compresión y permeabilidad. Con todo lo antes mencionado los parámetros a evaluar para la elección del estabilizante se muestran en la Tabla 3.



Impacto Ambiental	
i.	Contaminación al cumplir su ciclo de vida
ii.	Energía Incorporada
Uso de materiales reciclados	
Economía	
i.	Precio
ii.	Disponibilidad
Mejora de Propiedades Técnicas	
i.	Permeabilidad
ii.	Incremento de resistencia a compresión

Tabla 3 - Parámetros de Calificación de los Estabilizantes

La escala a utilizarse será de valores que irán del 1 al 5, siendo su escala la siguiente:

5.0 = Excelente

4.0 = Muy bueno

3.0 = Bueno

2.0 = Regular

1.0 = Malo

Impacto Ambiental

La sostenibilidad de un material en la construcción se puede definir como el recurso que necesita menos manipulación, ya sea humana o por métodos industrializados, encontrándose en el medio y entorno inmediato de la obra a realizarse. Al tener una menor manipulación y poca distancia en el transporte se consume menos energía lo que repercute en una menor cantidad CO_2 emitida a la atmósfera. (Madero & Martín, 2013).

En lo que respecta a la arquitectura actualmente la construcción es responsable del 36% del uso total de la energía, 65% del consumo de electricidad, 30% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero, 30% del uso de materias primas, 30% de los residuos que van a vertedero y un 12% del uso de agua potable, problema que llevó al campo de la construcción a buscar opciones viables para reducir el consumo y el impacto ambiental derivado de la explotación de este combustible fósil, instituyendo de esta manera también una conciencia ambiental y promoviendo el uso de materiales de bajo consumo energético. Debido a los mencionados antecedentes en esta investigación se dará especial importancia al uso de materiales con bajo costo energético y bajo impacto ambiental. (Libro Verde, 2012)

El impacto ambiental o la denominada huella de carbono (HdC) se calcula considerando la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, los mismos que proceden de actividades de producción y/o consumo de servicios (Pandey et al., 2010, Wiedman 2009, ctd en Espíndola & Valderrama, 2012). Si bien como menciona Espíndola & Valderrama (2012) *"no existe aún un método aceptable y general para determinar y comparar la HdC de productos, servicios, viviendas y empresas"*, algunos autores (Minx y Wiedmann, 2008, ctd. en Espíndola & Valderrama, 2012) calculan la emisión de un gas único (CO_2), método evaluativo presente en el sector de la construcción, donde encontramos criterios similares para definir el impacto ambiental de los materiales.

Para evaluar el consumo energético en la elaboración de un material se debe tomar en cuenta la energía incorporada en su construcción, la misma que



“incluye todo lo que se necesitó en los distintos procesos necesarios para llevar el material a su lugar en el edificio: desde la extracción de las materias primas, hasta su manufactura y erección; debe incluir la energía asociada al transporte (y a la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que éste sea posible), así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos.”(woolley et al,1997 ctd en Espí,1999).

Teniendo en cuenta todas estas condicionantes presentes y si consideramos que no existe material 100% - ecológico ya que todos causan un deterioro y degradación - se evaluará el impacto ambiental de los estabilizantes químicos para su uso en los bloques de adobe prensado bajo los siguientes puntajes:

EXCELENTE - MUY BUENO: se considerará con una valoración positiva a materiales cuyo costo energético o bien energía incorporada sea menor a la presente en materiales estabilizantes de construcción contemporánea(cemento). De igual manera si el material existe en la región el gasto energético en transporte sería inferior, razón por la cual se valorara positivamente si el material existe en el entorno inmediato al lugar de la investigación. Para finalizar se tomará en cuenta si el material al cumplir su ciclo de vida su degradación contamina el medio ambiente.

BUENO - REGULAR: se considerará los materiales cuyo costo energético o energía incorporada en su elaboración sea igual (en magnitud) a los materiales usados en la construcción contemporánea. Así mismo se toma en cuenta para este apartado, materiales existentes en el medio pero que al cumplir su ciclo de vida, su degradación tenga un impacto negativo en el medio ambiente.

MALO: se encasillarán en este apartado materiales cuya energía incorporada sea mayor al de materiales empleados actualmente en la construcción, así mismo materiales que no sean de la región – su transporte genera un gran consumo energético – y que a su vez degraden el medio ambiente.

Cabe recalcar que para evaluar la energía incorporada se valorará la magnitud del impacto ambiental de cada material en su proceso de fabricación, ya que como se mencionó no existe un método exacto para la evaluación de materiales

debido a la diferencia existente en los procesos de elaboración.

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

Al buscar materiales de bajo impacto ambiental o en su defecto materiales que aporten soluciones para reducir el despilfarro energético en la actualidad, se considerarán materiales reciclados como componentes para la estabilización del adobe, es decir, materiales que en su proceso de elaboración usen materia prima reciclada y/o procesada para la conformación de compuestos. También se considerará como positivo la re-utilización de desechos.

Se considerará para este efecto 2 valoraciones para evaluar los materiales las cuales se indicarán a continuación:

EXCELENTE: Se considerará como positivo a materiales que contengan componentes provenientes de procesos de reciclaje y/o reutilización de desechos por lo que sumaran un puntaje compuestos de este tipo.

MALO: Materiales que no contengan compuestos provenientes del reciclaje, no tendrán puntaje en este apartado.

Economía

La economía es un parámetro fundamental para la elección de un material de construcción ya que esto repercutirá en el costo final de una edificación. De la misma manera la selección del estabilizante adecuado influenciara en el costo del producto final, en este caso los bloques de tierra. Para ello se tomaran en cuenta 2 factores que permitirán conocer si el estabilizante a escogerse es económicamente favorable.

Disponibilidad

Los estabilizantes deben ser accesibles a las personas comunes, es decir, se debe poder conseguir en el mercado sin necesidad de permisos o impedimentos para su despacho, o en su defecto su extracción (en el caso de materiales orgánicos).



Así mismo deberá tomarse en cuenta la propensión del material a producirse de manera masificada, esto con el fin de elaborar cantidades significativas de bloques que puedan conformar una edificación a precios asequibles.. Es de suma importancia que un producto lo podamos conseguir continuamente, y que su obtención se pueda realizar en cualquier día del año.

-EXCELENTE- MUY BUENO: si el estabilizante se puede conseguir en el mercado sin necesidad de permisos ni impedimentos, además se puede conseguir cualquier día del año y en grandes cantidades.

-BUENO-REGULAR: si el estabilizante se puede conseguir en el mercado sin necesidad de permisos ni impedimentos, pero su producción no es continua, o no es propenso a conseguirse en grandes cantidades debido a su alto costo.

-MALO: si el estabilizante no se puede conseguir en el mercado ya que requiere permisos o existe impedimentos debido a la complejidad en su fabricación y/o obtención. De igual manera se encontrarán en este apartado materiales que no puedan conseguirse en grandes cantidades debido a su alto costo.

Precio

Para calificar al precio, es necesario un análisis previo de cada uno de estos compuestos, donde se tomaran en cuenta dos factores determinantes para obtener el precio por m³ de producto para así poder compararlos, estos son:

- Precio en el mercado
- Peso específico (Kg por m³).

Es por esto que se adicionara posteriormente al estudio de los estabilizantes un apartado donde se elaborara una tabla para obtener la calificación del precio.

Es importante tomar en cuenta que la calificación que obtendrá cada estabilizante ira desde los mas económicos como EXCELENTE, MUY BUENO y BUENO, hasta los mas costosos como , REGULAR y MALO. Esta evaluacion sera valida unicamente entre los compuestos analizados.

Mejora de Propiedades Técnicas

Después de estudiar las vías por las cuales se puede conseguir mejorar las características técnicas del adobe, para esta investigación se buscará mejorar 2 propiedades de los bloques de tierra como mejora para su uso en el medio, siendo estas:

Resistencia a la Compresión: se elige estudiar la mejora a compresión del adobe, ya que la resistencia del mismo realizado por métodos tradicionales en el medio, no cumplen con los esfuerzos admisibles mínimos en las normativas estudiadas, así mismo la resistencia a la compresión se conforma como un apartado importante, siendo un elemento válido para buscar la mejora por distintos métodos.

Resistencia a factores medioambientales externos(permeabilidad): al encontrarnos en una región cuya temperatura oscila entre 11°-24°(INAHMI), en un medio donde las inclemencias del tiempo y precipitaciones pluviales son significativas en determinadas épocas del año, se ha creído conveniente estudiar métodos para mejorar la impermeabilización del material. La impermeabilización basada en los factores de capilaridad, es una característica de suma importancia ya que la humedad del medio ambiente, efectos de la lluvia y otros factores pueden conducir a que el sistema constructivo fracase.

Ya que la propuesta de mejoramiento que se desarrollará en esta investigación busca mejorar la resistencia a compresión y la impermeabilización de la pieza, se tomará en cuenta estas condicionantes para calificar el uso de los estabilizantes en la optimización del adobe como se muestra a continuación:

-EXCELENTE – MUY BUENO: se encasillará en este apartado los estabilizantes que podrían brindar una mejora a la compresión y optimicen las cualidades de la tierra ante condiciones externas (impermeabilización de la tierra).

-BUENO - REGULAR: si el estabilizante podría brindar una mejora en la resistencia a la compresión o impermeabilización, es decir, si mediante su uso se optimiza solo una de las 2 propiedades.



-MALO: si el estabilizante no podría brindar una mejora de la resistencia a la compresión ni impermeabilización, esto independientemente de si el mismo mejora otras características técnicas de la tierra, sin importar lo significativa que sea, ya que se busca mejorar las condiciones específicas antes mencionadas.



3.3 Estudio de Estabilizantes Químicos

3.3 Estudio de Estabilizantes Químicos

A continuación se enumerará compuestos químicos que se estudiarán, estos se dividen en 5 grupos que creemos engloban la variedad de estabilizantes abundantes en el medio; se tomarán en cuenta compuestos representativos de cada uno de estos grupos para su estudio, debido a que en la investigación se ha encontrado información pertinente sobre su uso como material de mejoramiento para suelos.

Aditivos Minerales
Cemento Cloruro de sodio (sal) Cal Yeso
Productos Sintéticos
Resinas Sintéticas Productos Asfálticos (Bitumen) Silicato de Sodio
Productos puzolánicos
Polímeros Naturales
Resinas Naturales Almidones
Geo-Polímeros
Fibras Vegetales
Cabuya Cascara de Arroz
Escorias de Fundición

Tabla 4 - Clasificación de Estabilizantes según su tipo

3.3.1 Aditivos Minerales

Cemento

El cemento empleado para la estabilización del adobe es el denominado Portland, por lo que se estudiara este tipo como estabilizante. (Gatani, 2000)

Adam N. Neville(s/f.) indica que el cemento puede definirse como “... un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales confieren la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.”, el cemento al ser un conglomerante hidráulico (su mezcla con agua forma una pasta que al endurecerse adquieren propiedades mecánicas, así como gran resistencia a la compresión) es utilizado en la conformación de hormigones en la actualidad; debido a su durabilidad, capacidad aglutinante, baja permeabilidad. Según la norma INEN NTE 152:2012 el cemento portland debe contener los siguientes componentes: Clinker, agua o sulfato de calcio, caliza, adiciones inorgánicas de proceso, adiciones orgánicas de proceso y adiciones incorporadas por aire. (fig. 1)

Proceso de Fabricación

El proceso de elaboración del cemento es complejo ya que se debe explotar gran cantidad de materia prima, la extracción de estos minerales se realiza en canteras del medio desde las cuales se transporta los materiales a industrias de procesado que consta de las siguientes etapas.

Trituración – Almacenamiento – molienda de crudo – homogeneización – pre-calcinación – clinkerización – molienda de acabado – empaque.

Si comparamos el cemento con compuestos naturales este posee un alto costo energético y una significativa energía incorporada en su elaboración. El proceso de cocción de los compuestos (clinkerización) en la cual los hornos deben conseguir altas temperaturas son la principal razón por la cual este consumo es elevado debido a que para este efecto comúnmente se queman combustibles fósiles. Así mismo se debe tomar en cuenta la energía incorporada en el transporte de las materias primas hasta el lugar de elaboración del material y el posterior traslado del producto final a centros comerciales para su venta. Según



Arguello Mendez & Cuchí Burgos(2008) el costo energético del cemento por kg es 50 veces mayor al costo energético de cementantes naturales (áridos como la arcilla, productos puzolánicos).

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$7.47

Estabilización del suelo mediante el uso del material

El cemento mejora diferentes características de la tierra al ser utilizado como agente estabilizante, a continuación se indicarán las principales reacciones de la tierra al mezclarse con este material.

Estabilización ante el agua.- especialmente para suelos con bajo contenido de arcilla el cemento funciona como agente impermeabilizante, no obstante Minke(2001) menciona que este material puede ser usado en distintos tipos de suelo, teniendo en cuenta que a mayor contenido de arcilla se necesitará mayor cantidad de cemento para alcanzar la estabilización.

Incremento en la resistencia a compresión.- de igual manera se debe tomar en cuenta el contenido de arcilla en la mezcla de barro y en base a esto emplear el cemento como aditivo. Si se usa cemento para optimizar las características del barro, la mezcla debe utilizarse inmediatamente ya que el fraguado del cemento comienza enseguida. (Minke, 2001)

El cemento es especialmente utilizado en la estabilización del adobe prensado(bloques de tierra comprimida), gracias a la experimentación por distintos autores (Minke, 2001;Calderón,2014;Gatani, 2000; Saroza,et al, 2010) se ha comprobado que el uso de este material aumenta la resistencia a compresión y optimiza su rendimiento ante agentes externos como el agua.

Evaluación del Cemento como estabilizante

Impacto Ambiental

Si bien la materia prima para la elaboración del cemento existe en la región,

el costo energético en su elaboración es alto (quema de combustibles fósiles en proceso de cocción). Por lo que se evalúa este material como MALO (1).

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

El cemento Portland estudiado en su proceso de fabricación no emplea materiales reciclados, por lo que se considera como MALO (1)

Economía

Disponibilidad.- El cemento es un material empleado frecuentemente en la construcción contemporánea razón por la cual su comercialización en el medio es habitual, se puede conseguir en cualquier fecha del año y su producción es masificada por lo que se consigue en grandes cantidades. Si bien se mencionó que el proceso de producción de cemento es un tanto complejo, al ser un material usual en la construcción y al existir gran demanda del mismo, existen industrias que lo producen y comercializan de tal manera que el producto final es accesible. Tomando en cuenta estas connotaciones este material se lo considera EXCELENTE (5)

Mejora de Propiedades Técnicas

El cemento optimiza las propiedades de permeabilidad y compresión de los bloques de tierra razón por la cual se lo considera EXCELENTE (5)



fig. 1- Cemento en polvo

Cloruro de Sodio

El cloruro de sodio - comúnmente conocido como sal - es un compuesto natural inorgánico, este se forma a partir de la neutralización de un ácido con una base, la cual se encuentra conformada por sodio y cloro, obteniendo como fórmula NaCl. Normalmente se encuentra en un estado sólido con un color blanco cristalino. (Pérez&Garnica, 2002)(fig. 2)

Dentro de los usos más comunes podemos citar los siguientes:

Fácil disolución con el agua, por lo que se utiliza para deshacer el hielo en el invierno,

Empleado como condimento para las comidas.

En el mercado se puede encontrar en grandes cantidades en polvo fino y con diferentes grados de pureza (Pérez&Garnica, 2002).

Proceso de fabricación

El cloruro de sodio se puede obtener mediante 3 distintos procesos: El método más antiguo consiste en el uso del calor del sol para la evaporación del agua salada para de esta manera obtener los residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción directa en las minas de sal y por último la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos. (Pérez&Garnica, 2002)

Según la empresa Salins sus efectos sobre el medio ambiente no son negativos ya que no afecta a la biodiversidad ni emplea demasiada energía en su elaboración, cabe recalcar que si en su producción se utilizan hornos de secado la emisión de CO₂ será mayor. En el mercado nacional uno de los principales productores es Ecuasal el mismo que utiliza el método de evaporación solar, con un empleo mínimo de energía.

Cabe mencionar que el cloruro de sodio empleado como estabilizante en los suelos es la denominada sal industrial, la misma que no pasa por procesos de refinación para su uso. Se ha investigado en el medio y se ha conocido que es posible obtener la materia prima en diferentes presentaciones y en

grandes cantidades. Por su bajo gasto energético, capacidad de obtención en masa disponibilidad y costo, se optó por el uso de la denominada sal en grano industrial(sin refinar).

Este material se lo puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50 kg y su costo esta alrededor de \$6.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

Investigaciones (Tauta, et al., 2006) aseguran que al implementar al cloruro de sodio en la estabilización de los suelos obtenemos un cambio en el peso volumétrico de la arcilla, de esta manera se disminuye la humedad óptima lo que ocasiona que la arcilla actúe de forma dispersa generando así un aceleramiento de las partículas donde se aumenta el peso volumétrico. También el uso de cloruro de sodio en lo suelos reduce la evaporación del agua debido al incremento de tensión superficial "...cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones" (Pérez&Garnica, 2002.).



fig. 2 Cloruro de sodio (Sal)



Según investigaciones la adición de sal en la arcilla produce un decremento en la contracción volumétrica y la variación en la humedad, esto mantiene más unidas las partículas no arcillosas.

En su trabajo doctoral El-Sekelly(1987) ha estudiado tres mezclas, donde pudo constatar la optimización en la resistencia a la compresión y a la tensión. Cabe mencionar que en varios casos agregó un 2% de cal además del cloruro de sodio. Es importante tener en cuenta que las reacciones producidas al utilizar cloruro de sodio son similares a las reacciones al utilizar cloruro de calcio (Tauta, et al., 2006).

Evaluación del cloruro de sodio

Impacto ambiental

El impacto en su producción al utilizar el método de evaporación es mínimo, evitando de esta manera la emisión masiva de CO₂ por la quema de combustibles fósiles en la utilización de hornos. Este material no existe en la región y se puede conseguir en zonas cercanas al lugar de estudio; si bien esto hace que aumente el costo en la energía incorporada del material debido al transporte, se considera que el mismo sigue siendo inferior al de materiales empleados actualmente como el cemento, así mismo su degradación al cumplir el ciclo de vida no produce efectos negativos en el medio ambiente, razón por la cual consideramos al material como EXCELENTE (5).

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera MALO (1), ya que no proviene de un material reciclado.

Economía

Disponibilidad.- al ser un producto industrializado, en el Ecuador existen empresas productoras de cloruro de sodio, este material es accesible y de fácil obtención en el área donde se realiza el estudio, por lo tanto en este apartado se considera al material como MUJ BUENO(4).

Mejora de las propiedades técnicas

Se considera BUENO (3) ya que mejora la permeabilidad del producto, más no su resistencia a la compresión.

Cal

La cal es el resultado de la calcinación de piedras calizas, también conocida como carbonato de calcio de fórmula CaCO₃. El tipo de cal que se puede conseguir va a depender de la composición de la roca caliza (Otero, 2010). (fig. 3)

Según estudios realizados por un grupo de físicos expertos de la universidad de Ámsterdam la cal es uno de los materiales más antiguos de la construcción el mismo que data de 2600 a.C encontrado en revestimientos de monumentos como las pirámides de Egipto (Fernández, 2012).

Proceso de fabricación

El proceso de producción de la cal consta de 4 fases:

Calcinación: aquí se efectúa la cocción de la piedra caliza a unos 900°C aproximadamente, con lo cual se obtendrá el óxido de calcio o cal viva (CaO), el aspecto final del producto contiene fragmentos irregulares de cal (Otero, 2010).

Apagado: proceso de mezclado de la cal viva con agua, al mismo que se le conoce con el nombre de cal apagada o hidróxido de calcio (Ca(OH)₂ + Q), su aspecto es pastoso o forma un polvo blanco, esto depende de la cantidad de agua vertida. A esta cal se le tiene que dejar en balsas un mínimo de 6 meses dependiendo del nivel de resistencia y plasticidad que se desee, a este proceso se le conoce como envejecimiento (Otero, 2010).

Pasta de mortero de cal: es conocido también como mortero de cal, para su obtención se mezcla la cal apagada con agua y arena (Otero, 2010).

Carbonatación: El mortero de cal se carbonata con el CO₂ de la atmósfera, el mismo que confiere propiedades de elasticidad, brindándole un comportamiento mecánico más flexible, transformándose en una costra pétrea que tiene una forma similar a la piedra original. Las aplicaciones y procesos de la cal van a depender y mejorar gracias a las reacciones con otros materiales (Villarino, 2010).

Después de la investigación realizada se ha podido conocer que los materiales que necesitan quemar combustibles fósiles para producir compuestos tienen costos energéticos más elevados y por ende la energía incorporada en la elaboración de los mismos aumentará, en el caso de la cal la emisión de CO₂ por Kg de cal es de 0.32 kg similar al cemento que es de 0.41kg. (Arguello Mendez & Cuchí Burgos, 2008)

Se ha estudiado la disponibilidad y accesibilidad del producto en el medio, el mismo se puede obtener con facilidad y de manera continua en comercios dedicados a la construcción, ya que su producción es industrializada.

Este material se lo puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50 kg y su costo está alrededor de \$5.27.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

La cal posee muchas ventajas especialmente ecológicas ya que utiliza menor tiempo y temperatura en su fabricación, además no interfiere en el flujo natural del vapor de agua que necesitan las estructuras en tierra, lo cual nos brinda un confort tanto térmico como ambiental. Es necesario tener claro que si bien la cal tiene impacto sobre el medio ambiente, este es mucho menor a otros productos industrializados para la construcción (Baca, et al, 2010).

Existen estudios y datos certeros de la combinación de la tierra con la cal, según Baca, et al, (2010) se pueden identificar cuatro procesos en los cuales reaccionan los dos materiales:

Intercambio iónico: la cal remueve algunos componentes de la arcilla como

son el sodio, potasio y magnesio que atraen el agua; por lo que contribuye en la impermeabilización.

Floculación: horas después de la mezcla con la cal, la arcilla pierde agua y se comporta como un componente más grande, por lo que la curva granulométrica se desplaza a la zona gruesa consiguiendo un comportamiento más estable del elemento.

Acción puzolánica: es cuando reaccionan los óxidos presentes en la arcilla generando silicatos y aluminatos de calcio los cuales son productos cementantes.

Carbonatación: este proceso toma un poco más de tiempo que los mencionados anteriormente, el mismo consiste en la combinación del hidróxido de calcio con el bióxido de carbono del aire, proceso que aumenta la cohesión.

Este tipo de estabilizante ya ha sido estudiado en algunas ocasiones, se destaca la investigación realizada por Baca et al. (2010 "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México", donde se consiguen mejoras técnicas en compresión y permeabilización en los suelos donde se emplea este material como aditivo.



fig. 3 Polvo de Cal



Evaluación de la cal

Impacto ambiental: se considera BUENO(3), ya que la energía incorporada en su producción es similar al del cemento, sin embargo, es importante destacar la capacidad de absorción de CO₂ de la atmosfera que tiene este material durante su vida útil.(Otero, 2010).

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera MALO (1), ya que no proviene de un material reciclado.

Economía

Disponibilidad: se considera MUY BUENO (4), al ser un producto industrializado en el Ecuador existen empresas productoras de cal, por lo que su accesibilidad está garantizada en pequeñas y grandes cantidades.

Mejora de las propiedades técnicas

Se considera EXCELENTE (5) ya que podría mejorar la permeabilidad del producto y su resistencia a la compresión.

Yeso

El yeso viene del latín gypsum, es un material derivado de la piedra de yeso de fórmula (CaSO₄ 2H₂O), denominado sulfato de calcio dihidratado o dihidrato. (Proinsa, 2008). El yeso es un material blando y soluble en agua, razón por la cual no es recomendado el empleo al exterior. Debido a su facilidad de deshidratación parcial a bajas temperaturas es un producto apto para la construcción. En la actualidad se emplea para fabricar tabiques, bóvedas, enlucidos, pavimentos estucos, molduras, etc. (Construmática, 2015).(fig. 4)

Proceso de fabricación

El mineral se extrae de canteras para ser triturado con maquinaria pesada como molinos de rodillos, machacadoras de mandíbulas, etc. Luego pasa

por un proceso de cocción donde el tamaño de grano tras su trituración viene determinado principalmente por el método o sistema de cocción que se utilice. Para realizar éste proceso se calientan hornos a temperaturas que van desde los 200 a los 900 °C. (Proinsa, 2008).

A continuación se muestra el proceso de elaboración del yeso:

1. Canteras.
2. Trituración de la materia prima.
3. Almacenado en silos de la materia prima.
4. Horno de cocción.
5. Molienda del yeso fabricado.
6. Almacenado en silos del yeso fabricado.
7. Zona de carga directa del yeso en camiones cisterna.
8. Zona de ensacado automático del yeso.

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$8.12



fig. 4 - Yeso en polvo



Al utilizar la cocción para su producción es un material que conlleva una energía incorporada igual o superior a materiales como el cemento. En nuestro medio se ha conocido que el yeso es un producto muy utilizado en la construcción, se puede conseguir con facilidad en el mercado.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

(Siller, et.al, 2012) mencionan que el trabajo del yeso como estabilizante de bloques de tierra funcionan con la adición de cal, de esta manera se optimiza el comportamiento a compresión en un 50% más que los bloques comunes.

La resistencia a la compresión del yeso depende de la cantidad de agua ya que al secarse se produce un endurecimiento, sin embargo al ser un material de rápido fraguado, deja muchos espacios de aire que son ocupados por el agua lo que baja su resistencia(Otero, 2010). En cuanto al comportamiento frente a la humedad no se encontró un registro de ensayos realizados a bloques de tierra estabilizados con yeso.

Evaluación del yeso como estabilizante

Impacto Ambiental

Si bien la materia prima para la obtención del yeso existe en la región, su explotación en canteras degrada el medio ambiente(Häberer, 2012), así mismo como ya se ha mencionado para su elaboración el costo energético es alto debido a que quema combustibles fósiles en su proceso de cocción. Por lo que se evalúa este material como MALO (1).

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

No emplea materiales reciclados, por lo que se considera como MALO (1)

Economía

Disponibilidad.- su comercialización en el medio donde se ha realizado el

estudio es habitual y se puede conseguir en cualquier fecha del año y en grandes cantidades. Existen industrias que lo producen y comercializan de tal manera que el producto final es accesible. Tomando en cuenta estas connotaciones este material se considera EXCELENTE (5)

Mejora de Propiedades Técnicas

El yeso no mejora las propiedades de permeabilidad por sí solo, sin embargo optimiza la compresión dependiendo de la cantidad y reacción con el agua, razón por la cual se considera BUENO (3)

3.3.2 Productos Sintéticos

Resinas Sintéticas

Las resinas sintéticas, parafinas, ceras o látex conforman este grupo de materiales empleados en la mejora de las características del adobe. No obstante su costo es elevado en comparación con otros estabilizantes “orgánicos”, y son propensos a la degradación por rayos ultravioleta (Minke, 2001), por tal motivo se debe estudiar el uso del mismo y conveniencia para cada caso.

Según Doerner,(2005) a lo largo del siglo XX se han desarrollado numerosos materiales sintéticos, los mismos que no intentan imitar a las resinas naturales, al contrario contribuyen en la mejora de características tanto físicas y químicas, que los materiales naturales no podrían conseguir.

Proceso de Fabricación

La incorporación de resinas en los suelos se realiza mediante la adición de un monómero² junto a un sistema catalizador, dicho proceso produce la polimerización. Otra forma de incorporar este compuesto es mediante la adición del polímero o resina formada, la misma que se encuentra en forma de emulsión (Peláez, 2007 ctd. en Ríos, 2010). Existen 3 métodos para producir estos materiales denominándose según su proceso: masa, suspensión y

1. Se tomará como estabilizantes orgánicos, a compuestos cuya obtención se de por medio de la extracción de producto naturales, sin ser procesados, tales como las fibras vegetales.

2. Compuesto que mediante el uso del sistema catalizador(polimerización), “...se convierte en una unidad repetida de la secuencia de polímeros”(REACH, 2012), es decir, sirve para conformar compuestos poliméricos artificiales como el propileno y/o distintas resinas sintéticas.



emulsión.

El denominado proceso de polimerización produce una baja cantidad de efluentes, esto si le comparamos con otros procesos de fabricación mediante el uso de monómeros (INEC. Encuesta anual de manufactura y minería, 1998).

Los efluentes producidos en la elaboración de estos compuestos pueden causar distintos impactos ambientales según la característica del material que se elabore, sin embargo existen los denominados “potenciales impactos ambientales” derivados de la elaboración de estos productos (INEC. Encuesta anual de manufactura y minería, 1998); emisiones al aire – Contaminación al agua – desechos sólidos – Alteraciones en la flora y fauna – toxicología con respecto a los seres humanos, están considerados en éste apartado. De la misma manera según Arguello, Cuchi (2008) la cantidad de emisiones de CO₂ presente en la producción de 1kg de resinas es de 16.280kg, siendo 40 veces mayor al consumo energético del cemento.

Se ha podido conocer el uso de resinas epoxi y acrílicas en el mejoramiento de suelos por lo que se ha considerado éstas para el estudio como estabilizante en la tierra.



fig. 5 Resina acrílica

Resinas Acrílicas

La resina acrílica es un polímero sintético a base de poli metacrilato de metilo, a partir de la misma se obtienen compuestos sintéticos como el metacrilato o la llamada pintura acrílica, el proceso de producción de este compuesto se puede realizar por los 3 métodos enumerados anteriormente (masa, suspensión y emulsión). Es importante señalar que el proceso de polimerización por medio de emulsión – proceso utilizado para el desarrollo de revestimientos de venta comercial – es una operación de carácter discontinuo y el producto final contiene alrededor del 50% de resina acrílica. (INEC. Encuesta anual de manufactura y minería, 1998). (fig. 5)

Este material se lo puede conseguir en el mercado actual a un costo alrededor de \$18.74 el kg (adibond³)

Este tipo de resinas son empleadas para elaborar pinturas acrílicas principalmente, tanto para interiores como exteriores, las mismas difieren de otros tipos de resinas por tener apariencia cristalina. Se emplea en distintos campos debido a sus aceptables características físicas y químicas siendo las más importantes:



fig. 6 Resina epoxi

3. Se eligió el estabilizante denominado bencocryl para evaluar el precio del material, ya que el mismo se comercializa en el medio y está formado a base de polímeros acrílicos. (resina acrílica)



Resistencia a la tensión – Resistencia al calor – insolubilidad y baja absorción de fluidos – mejora las propiedades de adhesión.

Resinas Epoxi

La resina epoxi es un polímero termoestable constituido por 2 componentes - resinas y un agente catalizador- que al mezclarse causan la solidificación de la resina. (Anon., 2014) Se los conoce también como adhesivos rígidos por su alta resistencia frente a tensiones y cargas. (fig. 6)

Dicho compuesto puede ser empleado en :

- La elaboración de pinturas protectoras para estructuras de acero
- Pavimentos elaborados con resinas epoxi.
- Uniones de materiales que requieren de alta resistencia.

La principal característica mecánica de estos adhesivos epoxi son su resistencia a esfuerzos o cargas, las mismas que están sobre 30 Mpa. En cuanto sus características químicas son resistentes a agentes físicos y químicos, tienden a absorber la humedad y adquiere una alta resistencia a esta condicionante. (Anon., 2014)

Minke(2001) menciona que este y otros estabilizantes sintéticos empleados como aditivos han sido utilizados para el mejoramiento de la tierra, no obstante la información encontrada sobre el uso de este material en particular como aditivo en el adobe es escueta. Creemos que gracias a las propiedades mecánicas de la cual goza este material, con su uso se puede optimizar la compresión del adobe aunque para afirmar ésta hipótesis se debe ensayar muestras con distintas dosificaciones.

Este material se lo puede conseguir en el mercado actual a un costo alrededor de \$7.91 el kg(bentocryl²)

Evaluación de la resina Acrílica

Impacto Ambiental

Para su elaboración no se emplea materiales de la región, su proceso de producción (reacciones químicas) genera contaminación y el costo energético es ampliamente superior al del cemento, se lo evaluará como MALO (1)

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

Para la producción de las resinas estudiadas no se usa materiales reciclados. MALO (1)

Economía

Disponibilidad.- las resinas acrílicas son comúnmente empleadas en odontología, en el ámbito de la construcción se comercializan productos en base a resinas acrílicas que conforman aditivos para distintos usos, mismos que pueden ser empleados como estabilizantes para el adobe, por lo que se puede conseguir el material en grandes cantidades y de manera ininterrumpida a lo largo del año. Si bien su método de fabricación es complejo sin conocimiento previo, al ser materiales habituales su adquisición es relativamente fácil en el lugar donde se realiza la investigación(Cuenca, Ecuador); debido a esto se encasillará como MUY BUENO(4).

Mejora de Propiedades Técnicas

Este compuesto mejora las características técnicas en cuanto a compresión y permeabilidad, por lo que se considera como MUY BUENO (4).

Evaluación de la resina Epoxi

Impacto Ambiental

Al igual que las resinas acrílicas, este compuesto produce efluentes que tienen un potencial impacto ambiental en el entorno, de la misma manera se ha podido



conocer que la energía incorporada en la producción de este elemento supera significativamente al del compuesto de comparación (cemento) por lo cual se lo considera como MALO (1)

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

Para la producción de las resinas estudiadas no se usa materiales reciclados. MALO (1)

Economía

Disponibilidad: Al igual que las resinas acrílicas en el medio se comercializan distintos tipos de resinas epoxi las cuales previamente pasaron por procesos químicos para su conformación y mejora de propiedades mecánicas. Se investigó en el sector de estudio y existe disponibilidad de resina epoxi en grandes cantidades en el medio, así mismo su producción es continua. Se encasilla por estas razones al compuesto como MUY BUENO (4)

Mejora de Propiedades Técnicas

Por sus propiedades este material puede mejorar la resistencia a compresión de la pieza, sin embargo no se tuvo datos válidos que puedan corroborar la mejora en la permeabilidad mediante el uso del material, razón por la cual se considera como BUENO (3). (fig 7)

Productos Asfálticos (Bitumen)

Los productos "bituminosos" son aquellos que poseen características de unión, se consideran como materiales pertenecientes a esta categoría los que contienen en su composición asfaltos naturales, betunes asfálticos de penetración, betunes asfálticos de oxidación, alquitranes o breas. Los materiales bituminosos procedentes del petróleo son conocidos como asfaltos, betunes asfálticos o bitumen. (PrevenciónBip, S.F). Este compuesto es de color marrón oscuro, su composición es sólida o líquida viscosa y muy densa a temperatura ambiente (PrevenciónBip, S.F).

Dentro de sus principales aplicaciones podemos mencionar: calzadas de asfalto, materiales para cubiertas, impermeabilización, etc..., (Malo, s.f.)

Proceso de fabricación

Se puede obtener por medio de métodos naturales o por derivación del petróleo, cabe mencionar que hoy en día la mayoría de los bitúmenes son derivados del petróleo mediante la refinación. (PrevenciónBip, S.F). Según, epa.gov (2014) la emisión de CO₂ por Kg de sustancias bituminosas es de 2.32 kg.

En el mercado nacional se puede encontrar con facilidad un bitumen sólido como es la breá, su precio varía según el costo del petróleo ya que es un derivado del mismo

Este material se lo puede conseguir en el mercado actual a un costo alrededor de \$2.95 el kg.



fig. 7 - Bitumen

4. Debido a la amplia variedad de estabilizantes epoxicos se eligió un compuesto denominado adibond (cuyo compuesto principal son las resinas epoxicas) para evaluar el precio de estas resinas ya que existe gran disponibilidad en el medio de las mismas.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

Para mezclar esta emulsión asfáltica con tierra, se necesita cambiar su estado sólido o viscoso al estado líquido, buscando la obtención de un material con mejor trabajabilidad (emulsionesasfálticas, 2015)

Según Daneels (2006), el bitumen se ha empleado como impermeabilizante para figuras de barro por culturas de medio oriente, donde también se lo aplicaba como cementante.

Evaluación del bitumen

Impacto ambiental

Se considera MALO (1). El gasto energético en la producción de este compuesto así como el impacto ambiental debido a la cantidad de efluentes provenientes de su elaboración se considera alto, ya que es un producto derivado de la explotación del petróleo y la energía incorporada en su elaboración es significativamente mayor a la de productos industriales para la construcción, como el cemento.

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera MALO (1), ya que no proviene de un material reciclado.

Disponibilidad

Se considera BUENO (3), ya que según la investigación se ha conocido que en el medio es accesible, pero está regido a la estabilidad en la industria petrolera.

Mejora de las propiedades técnicas

Se considera MUY BUENO (4), ya que mejora la resistencia a la compresión así como la permeabilidad de la pieza.

Silicato de Sodio

El silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3-4 \text{SiO}_2$) conocido también como vidrio soluble es un químico industrial usado desde la antigüedad. Su desarrollo se dio principalmente por la simplicidad en su proceso productivo (S.A.S., s. f.) . El uso de este material se encuentra especialmente como compuesto para la fabricación de detergentes y jabones, fabricación de cerámicas, consolidación de suelos.(fig. 8)

Proceso de Fabricación

El proceso de manufactura de este material se puede realizar de 2 maneras, mediante el proceso seco y el proceso húmedo. Las materias primas presentes en la elaboración mediante el proceso seco son cenizas de sosa y el óxido de silicio, para la producción de este compuesto se funde a altas temperaturas (1300°aproximadamente) el carbonato de sodio con arena de sílice. Posteriormente el producto obtenido conforma un cristal amorfo (vidrio primario) el cual se lo disuelve por distintos procesos con el fin de conseguir soluciones para variados usos.(Manufacturas Silíceas, 2000)



fig. 8 - Silicato de sodio



Al considerar la magnitud del costo energético en la fabricación de este material se debe tomar en cuenta la extracción en canteras y su posterior traslado al lugar de elaboración, bases de datos como la ITeC⁵ mencionan el costo energético en la extracción de arenas de sílice (compuesto que conforma el silicato de sodio), cuya emisión de CO₂ es de 8kg por kg producido y la cantidad de energía necesitada para su extracción esta alrededor de los 41,67kwh. A esto se debe sumar el gasto energético en la fundición de compuestos para formar este material, que se realizan en hornos donde el consumo de combustibles fósiles permiten que los mismos logren altas temperaturas.

Para realizar la comparación de energía incorporada con compuestos de construcción empleados en la contemporaneidad como el cemento, se considera el costo energético de este compuesto (que fue obtenido en la misma base de datos ITeC), el cual es alrededor de 10 veces mayor que en la extracción de arenas de sílice (materia prima principal en la elaboración de este compuesto). A esta se le debe sumar el costo energético en la fundición (cocción) de la materia prima para formar el compuesto y de esta manera tener una comparación certera en el costo de energía incorporada, ya que ambos materiales queman combustibles fósiles y necesitan hornos que alcancen temperaturas similares. Comparando estos procesos con los estudiados en la elaboración del cemento y su gasto energético se considera que en magnitud, la energía incorporada en la elaboración del silicato de sodio podría ser similar al cemento, sin embargo se debería profundizar en la investigación sobre los procesos de producción de estos materiales para indicar su gasto energético.

Su precio se encuentra alrededor de 0.90 ctvs el kg y su comercialización se la realiza generalmente en sacos de 25kg (Suproquim S. A.)

Estabilización del suelo mediante el uso del material

El silicato de sodio se emplea como estabilizante para barros arenosos, para su uso debe ser rebajado con agua en una proporción 1:1, si no se realiza, existe la posibilidad de que aparezcan micro fisuras las cuales provocan una fuerte absorción de agua. (Minke, 2001). Sin embargo el buen uso de este material como estabilizante optimiza las características del barro ante la acción del

agua. Así mismo Baso&Conci(2007) indican que también es empleado como estabilizante en los suelos para optimizar su resistencia.

Evaluación del Silicato de Sodio

Impacto Ambiental

Se considera que en el proceso de fabricación de este material, el mismo tiene una energía incorporada similar al del cemento. Si bien el material se fabrica en la región, la materia prima con la cual se desarrolla no es del lugar. Razón por la cual se califica como REGULAR (2)

Uso de Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

Para el proceso de producción de este compuesto no se emplean materiales reciclados por lo que se lo colocara en la categoría MALO (1)

Economía

Disponibilidad.- debido a sus múltiples aplicaciones y su relativa simplicidad en su proceso de manufactura este químico industrial resulta de bajo costo y de alta disponibilidad. Este compuesto puede ser obtenido en estado líquido (soluciones viscosas, alcalinas) y en estado sólido en forma de pastillas sólidas o en polvo. Al investigar en distintos locales comerciales donde es posible conseguir estos productos, se ha conocido la viabilidad en su adquisición en grandes cantidades y su producción continua a lo largo del año. Razón por la cual se lo considera MUY BUENO (4)

Mejora de Propiedades Técnicas

Este compuesto reacciona de manera favorable en cuanto a la mejora de características de compresión y permeabilidad por lo tanto se lo considera MUY BUENO (4).

3.3.3 Productos Puzolánicos

Los compuestos puzolánicos se dividen en 2 grupos – naturales y artificiales – sin embargo para la presente investigación se ha considerado las puzolanas naturales como material de mejoramiento ya que se intenta encontrar materiales que causen el menor impacto ambiental.

La puzolana o ceniza volcánica es un material silíceo-aluminoso generalmente de origen natural, al igual que la pómez o pumita que también son consideradas como materiales puzolánicos naturales disponibles en nuestro medio. Estas puzolanas por sí solas, es decir, sin mezclarse con otras materias primas carecen de propiedades cementantes, no obstante al combinarse con materiales como la cal dan lugar a compuestos estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. (Molina Larrea, 2014)(fig. 9)

Proceso de Producción de Puzolanas Naturales

La puzolana natural es un compuesto de origen volcánico, una materia sedimentaria de origen animal o vegetal. Se pudo conocer algunos tipos de puzolanas siendo las más importantes la pómez, toba volcánica y la puzolana natural calcinada. Las mismas provienen de cenizas volcánicas y en el caso de las puzolanas calcinadas también se forma por arcillas o rocas sedimentarias(Molina Larrea, 2014). La puzolana se adquiere mediante la explotación de formaciones geológicas donde existen yacimientos naturales de este compuesto. Molina Larrea (2014) menciona la ubicación de las principales canteras para la extracción de este material, siendo la más importante y cercana a la ciudad de Cuenca, la procedente del sector Challuabamba.

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$0.85

Resistencia Mecánica
A largo plazo, al prolongar el período de endurecimiento
Tracción
Compresión
Mejor relación tracción - compresión
Estabilidad
Frente a la expansión por cal libre
Frente a la expansión por sulfatos
Frente a la expansión por la reacción álcalis - agregado
Frente a la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c
Frente a la retracción térmica por enfriamiento
Frente a la fisuración
Durabilidad
Frente a ataques por agua puras y ácidas
Frente a ataques por aguas y suelos sulfatados
Frente a ataques por agua de mar
Plasticidad
Reduce la segregación
Evita la exudación
Comportamiento Térmico
Libera menor calor de hidratación
Produce menor elevación de temperatura

Tabla 5. Ventajas de la Puzolana en aditivos minerales(cemento)

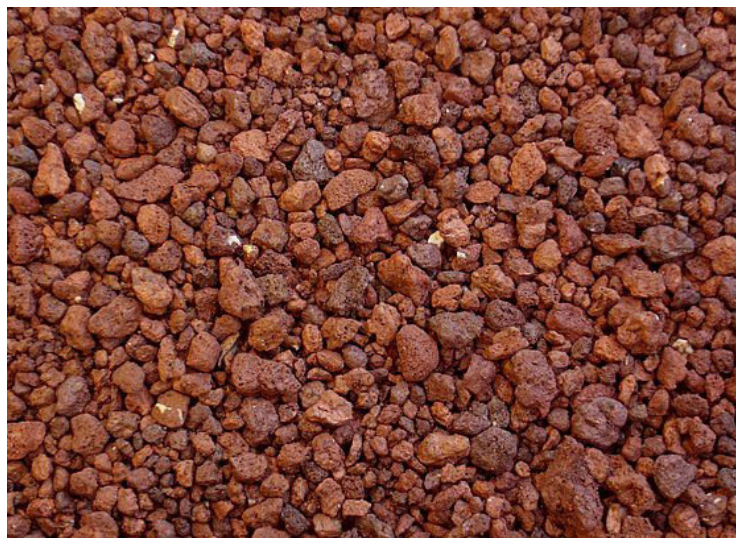


fig. 9 - Puzolana



Estabilización del suelo mediante el uso del material

La importancia de la puzolana como producto químico para la estabilización radica en su capacidad de reducir la expansión en morteros y hormigones. La puzolana también confiere propiedades de resistencia ante el ataque químico y el agua de mar. En la Tabla 5 se puede observar las ventajas del uso de la puzolana en el cemento. Se realiza esta acotación con el fin de observar la estabilidad de este compuesto al mezclarse con otros y en base a esto valorar si su uso puede ser adecuado para la propuesta.

Evaluación de la Puzolana

Impacto Ambiental

Al ser este un material natural su costo energético se valora con la extracción del mismo y su transporte, la extracción de esta materia prima en canteras es similar a la de distintos tipos de áridos, donde la energía necesaria para su extracción oscila los 0.028 kwh por kg de material y su emisión de CO2 es 0.007 unidades por Kg. (ITec, 2014), se concluye que el costo energético de este material es inferior al del cemento por lo que se considera como MUY BUENO(3)

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera MALO (1), ya que no proviene de un material reciclado.

Economía

Disponibilidad.- al existir canteras en el medio donde se explotan yacimientos para conseguir este material, se podría considerar accesible, sin embargo en la investigación realizada se ha conocido que la puzolana explotada en la zona (Challuabamba), tiene propiedades cementantes "bajas", por lo que se debe transportar productos puzolánicos de otros sectores, lo que hace dificultoso el acceso inmediato a este material. Debido a esto se lo calificará como REGULAR (2).

Mejora de Propiedades Técnicas

Por si solo este compuesto no concede ninguna mejora en la estabilización de la tierra, por lo que se lo encasilla en la categoría MALO. (1)

3.3.4 Polímeros

Los polímeros son macromoléculas que están compuestas por una o varias unidades químicas llamadas monómeros, estas se repiten a lo largo de toda una cadena, convirtiéndose en una molécula de polímero final, cada una se denomina unidad monómera. (Iosadhesivos.com, 2015)

Los polímeros por sus propiedades de resistencia se utilizan para la fabricación de productos geo sintéticos como geo textiles y geo membranas. Según López Lara, et al., (2010) dichos materiales tienen cuatro funciones principales:

Separación: Evitar o minimizar la mezcla de materiales de diferente granulometría.

Filtración y drenaje: Evita la migración de partículas de suelo permitiendo el libre flujo de agua y gases.

Refuerzo: Soporta tensiones, estabiliza la masa del suelo y protege las geomembranas.

Impermeabilización: Forma una barrera que impide el paso de fluidos y partículas de suelo.

La aplicación del polímero con respecto a su comportamiento se ha venido aplicando en asfaltos modificados, tratamiento de agua, entre otros, debido a que los polímeros tienen la capacidad de deformarse de forma elástica considerablemente cuando se les aplica una fuerza y pueden volver parcial o completamente a su forma original cuando se elimina la fuerza. (Ruiz&Rubio, 2014). Existen empresas como AggreBind, cuyo objetivo principal es la estabilización de suelos por medio de polímeros, sobre todo en el uso de vías.

La utilización de polímeros en la estabilización de suelos tiene como objetivo principal conseguir la impermeabilización en la mayoría de los casos.

En ciertos casos, la resistencia al esfuerzo cortante se reduce en tanto que la compactación se mejora en forma notable, lo que deriva en una mejora en la resistencia a compresión. Un gran número de productos comerciales están contenidos en esta categoría y su efectividad es muy variable la misma depende del tipo de suelo y los compuestos que constituyan el aditivo. (López Lara, et al., 2010).

Existe un amplia gama de polímeros que pueden ser estudiados, sin embargo para la presente investigación tomaremos al almidón de yuca, ya que distintos autores como Faria Rodrigues (1999); Minke (2001), mencionan este tipo de material como un estabilizante capaz de reaccionar de manera positiva con la tierra.

Almidón de Yuca

La yuca es un arbusto ramificado, alcanza una altura máxima de 2m, originario de las regiones tropicales de América. Los almidones pueden ser agrios cuando se procesan con cascara, y dulce cuando se procesan sin ella. El almidón de yuca es la segunda fuente derivada de este compuesto en el mundo después del almidón de maíz y es una de las principales fuentes de energía del planeta. (Bravo&Chica, 2010). (fig. 10)

Dentro de los principales usos del almidón de yuca encontramos la fabricación de productos alimenticios como pan, las denominadas “tortillas”, etc...; dentro de la industria de la construcción encontramos el empleo del almidón dulce en la fabricación de pinturas (Bravo&Chica, 2010). La yuca al ser procesada para conseguir el almidón tiene un aspecto similar a la harina de trigo.

Proceso de fabricación

El proceso de fabricación del almidón de yuca se inicia con la pre-cosecha en la cual se eligen las plantas de buena calidad, luego se realiza la cosecha entre los 7 y 18 meses desde su sembrado, este proceso puede ser manual o mecánico con la finalidad de no dañar la raíz, para luego almacenarlas (Bravo Sornoza, Chica, 2010).

Para la obtención del almidón de yuca se realizan los siguientes procesos: lavado, rayado, posteriormente pasan por una molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación, fermentación y secado; luego es necesario repetir el proceso de molienda y el tamizado ya que se forman terrones. Estos procesos pueden ser realizados manualmente o mecánicamente, pero es importante mencionar que son técnicas más sencillas en su fabricación que algunos almidones de cereales que requieren procesos más industrializados y especializados (Bravo Sornoza&Chica, 2010). Si comparamos la producción de este compuesto con la del cemento, en su elaboración no consume mayor cantidad de energía y la emisión de CO2 se consideraría baja, ya que no existe la quema de combustibles fósiles en su elaboración.

Al ser el almidón de yuca un producto industrializado podemos encontrarlo con facilidad en el mercado en diferentes presentaciones, ya sea almidón agrio o almidón dulce, también al estar destinado para la alimentación es de fácil obtención y accesibilidad.

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$38.00



fig. 10 - Almidón de yuca



Estabilización del suelo mediante el uso del material

Según Minke (2001), al utilizar el almidón de yuca como estabilizante en la tierra se obtiene las siguientes características

Favorables:

Confort térmico de alta ya que presenta baja conductividad térmica y alta capacidad térmica.

Buen comportamiento acústico, especialmente enfrentan sonidos de aire.

Buen comportamiento frente a la humedad

Disminución en utilización de agua, 60 veces menor que la construcción de hormigón

Evaluación del almidón de yuca

Impacto ambiental

La obtención del almidón se realiza mediante procesos no contaminantes, el impacto ambiental es casi nulo, sin embargo para obtenerlo en grandes cantidades se debe transportar de otras regiones lo que aumenta el costo en su energía incorporada. Al ser un polímero orgánico, la degradación al cumplir su ciclo de vida no produce ningún impacto ambiental (Ruiz, et al., 2009). Después de mencionar estas condicionantes consideramos a este material como MUY BUENO (4).

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera MALO (1), ya que no proviene de un material reciclado.

Economía

Disponibilidad.- se considera MUY BUENO (4), ya que al ser un producto utilizado en la industria alimenticia es accesible y se puede conseguir en grandes cantidades

Mejora de las propiedades técnicas

Este material mejora la resistencia a la compresión y la permeabilidad de la tierra, sin embargo, según investigaciones antes mencionadas la misma no es significativa y se debería ensayar probetas para cada caso particular de mejoramiento, BUENO (3).

Resinas Naturales

Si bien las resinas sintéticas actualmente disponibles en el mercado sobrepasan las características de dureza y resistencia a los agentes químicos que tienen las resinas naturales, estas necesitan transitar por procesos físicos y químicos para su obtención siendo poco amigables con el medio ambiente (Bailey, 1984)

Las resinas naturales son polímeros que segregan algunos tipos de plantas desde su corteza, según el tipo de planta del cual se consiga la misma contiene diferentes propiedades de olor, forma, dureza, solubilidad. Están compuestas por sustancias muy complejas y presentan características químicas y físicas muy especiales siendo las más importantes: Insolubles al agua, al mezclar con disolventes orgánicos (alcoholes, cetonas) se obtienen compuestos de propiedades filmó genas y adhesivas (Calderón, 2009).



fig. 11 - Aceite de Linaza

Proceso de Fabricación/Obtención

Se suelen distinguir diferentes tipos de resina según su origen y consistencia, siendo las más importantes por su menor complejidad en la obtención y mayor disponibilidad las balsámicas y resinas fósiles. Estas resinas pueden ser obtenidas de cortezas de los árboles siendo las más comunes la colofonia que puede ser adquirida de distintas especies de pinos, así como la denominada “sangre de drago” conseguida de los frutos de las palmas que suele ser comercializada en nuestro medio y finalmente mencionar la resina fósil presente en los copales. (Calderón, 2009).

De la misma manera se considera importante mencionar en este apartado el aceite de linaza, ya que su obtención es similar y su uso en el campo de la construcción con tierra es conocido.

Cabe mencionar que si bien el proceso de obtención de estos compuestos distan mucho de las complejidades presentes en la producción y elaboración de compuestos sintéticos, su disponibilidad en el medio puede ser escasa ya que su obtención no se realiza en masa.

Debido al amplio abanico de productos naturales en base a resinas no se podría generalizar el costo, sin embargo para este estudio se tomará el precio del aceite de linaza ya que existe experimentaciones con el uso de este material (Minke, 2001). Este material se lo puede conseguir en el mercado actual a un costo alrededor de \$21.44 el kg.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

El uso de estas resinas se da en el sector de la industria entre otras para la elaboración de barnices para pinturas con el fin de mejorar las características de impermeabilización de la misma. Minke (2001) menciona que el aceite de linaza confiere propiedades impermeabilizantes a la mezcla de tierra y mejora la resistencia a compresión.(fig. 11)

Evaluación de los las resinas naturales / aceite de linaza

Impacto Ambiental

Al ser materiales orgánicos extraídos directamente de la corteza de los árboles, el costo energético de las resinas naturales se puede considerar como nulo. Para identificar la energía incorporada en su obtención se debería tomar en cuenta el transporte de la materia prima hasta el lugar de construcción, en el caso particular del aceite de linaza el compuesto se puede conseguir en la región, motivo por el cual se considera que la energía incorporada total en la obtención del material(en la zona de estudio) es inferior a la del material tomado como base para la comparación(cemento), de igual manera al ser un material orgánico, al finalizar el ciclo de vida del mismo su degradación no produce impactos negativos en el medio ambiente por lo que se considera como EXCELENTE (5).

Uso Materiales Reciclados y/o reutilización de materiales

El aceite de linaza es un material orgánico, razón por la cual en su procesado no se emplean materiales reciclados, se lo encasillará como MALO(1).

Economía

Disponibilidad.- se ha investigado la disponibilidad del aceite de linaza en el medio donde se ha conocido que la accesibilidad del compuesto es continua a lo largo del año, es decir, se puede conseguir de manera ininterrumpida. Sin embargo si consideramos el uso de este material como producto estabilizante se presenta un gran problema ya que su precio hace prohibitivo el uso en grandes cantidades. Razón por la cual se lo colocará en la categoría MALO(1).

Mejora de Propiedades Técnicas

Al optimizar las propiedades de compresión y permeabilidad de los bloques de tierra se lo considera MUY BUENO(4).



3.3.5 Geo polímeros

El término geo-polímero ha sido acuñado por Joseph Davidovits en 1980, el cual sirvió para designar a polímeros sintéticos inorgánicos de aluminosilicatos que proceden de la geo-polimerización (reacción química). Este compuesto puede ser utilizado en numerosos campos conformándose el más importante como un sustituto del cemento. (Yepes Gaviria, et al., 2012). En el campo de la construcción su uso es de gran interés ya que lleva presente valores de resistencia y durabilidad. Los geo-polímeros activados alcalinamente a base de meta caolín tienen propiedades que se comparan generalmente con las presentes en el Cemento Portland, dichos compuestos pueden obtener altas resistencias en poco tiempo, presentan buena resistencia a la corrosión, existiendo una cantidad amplia de aplicaciones para este compuesto así mismo como posibles aplicaciones que podrían ser elaboradas al ser un posible reemplazante del cemento portland común.

Proceso de Fabricación

Los geo-polímeros pueden ser obtenidos en base a un sin número de materiales o restos de construcción, pueden adquirirse de las cenizas volantes, residuos inorgánicos resultantes de la quema de carbón pulverizado, en donde cuyos componentes mayoritarios están formados por óxidos de Si y de Al (Gonzalez Cuervo, et al., 2012). Gonzalez (2012) menciona que incluso *“se puede utilizar materiales de deshecho que no son útiles para incorporarlos al cemento Portland debido a su composición química.”*

El proceso para llegar a la obtención de geo-polímeros es más complejo ya que la materia prima más común -cenizas volantes, residuos orgánicos del carbón pulverizado o escorias de alto horno - no son tan comunes o bien el proceso para la adquisición de estos materiales son más complejos si lo comparamos con compuestos como la puzolana, sílices o resinas los cuales estudiamos como material de mejoramiento. Posterior a la adquisición de la materia prima se realiza un proceso de mezclado con distintos compuestos químicos para que reaccionen de modo que adquieran las propiedades antes mencionadas.

Finalmente para conocer las características químicas del geo-polímero conseguido pasa por una difracción de rayos X (González Acuña, 2012), siendo este proceso el de mayor complejidad debido al desconocimiento de los procesos de elaboración del mismo que son netamente químicos.

Estudios realizados por Yepes Gaviria, et al, (2012) muestran el uso de geo-polímeros a base de cenizas volantes y piedra pómez empleadas como sustituto del cemento Portland. Así también indican la posibilidad de producir grandes cantidades de bloques estabilizados con este compuesto con el fin de construir una edificación, demostrando que existe la posibilidad de masificar el uso de este compuesto. No obstante en el medio la obtención de este material es compleja ya que si bien goza de propiedades similares al cemento su producción no es común, por lo que es de difícil accesibilidad. Así mismo al no ser un producto normalizado y comercializado no existe un registro del precio para su producción, por lo tanto el grupo de tesis al constatar todas estas condicionantes considera que la mezcla de este material para la estabilización de la tierra así como su obtención puede constituirse como un estudio para investigaciones futuras en donde se experimente únicamente el material y su uso en la estabilización de la tierra debido a la complejidad del tema.

3.3.6 Fibras Vegetales

El uso de fibras vegetales para la elaboración del adobe es ampliamente conocida, como indicamos en la sección 1.4.2, el uso de paja de cerro es común en la elaboración de adobes tradicionales para mejorar las propiedades de tracción de la pieza. Estas fibras contienen esencialmente celulosa, siendo resistentes a distintos ácidos orgánicos e ineficientes ante la acción de ácidos minerales fuertes que la destruyen (Barbeta, 2002). Según Barbeta (2002) la estabilización con fibras es uno de los medios estabilizantes más difundidos por las mejoras que aporta al adobe donde menciona las siguientes:

Incrementa la resistencia a flexión, mejora el secado de las piezas, evita o minimiza efectos de erosión en la tierra.

El proceso de extracción de las fibras vegetales resulta variado así como

su procesado para el uso en adobes prensados, se estudiará 2 fibras vegetales siendo cascara de arroz y cabuya las elegidas debido a que se encontró que las mismas optimizan distintas propiedades mecánicas de la tierra, sin embargo existen pocas experimentaciones como material de mejoramiento para el adobe razón por la cual creemos conveniente realizar el estudio de dichos materiales y valorar su factibilidad en el uso para la optimización del adobe.

Cabuya/ Agave

La cabuya es una fibra vegetal obtenida mediante la explotación del denominado penco, las hojas de esta planta son gruesas y carnosas, pueden alcanzar hasta 4m de diámetro donde almacenan gran cantidad de agua (Sampedro Alban, 2009). Esta planta entre los 7 y 10 años de vida emite una roseta de hasta 10 m de altura. Según Checa, Gordillo & Jurado (2001) en Ecuador se lo conoce como cabuyo negro, penco o chaguar siendo su nombre científico Agave, mismo que contiene una sub-variedad de especies. En nuestro medio se encuentran las variedades del género furcraea de donde se consigue la cabuya blanca empleada en el campo textil para sogas alfombrillas, sacos. En la sierra se produce otra planta del género agave (cabuya negra), sin embargo es poco utilizada por artesanos textiles debido a la dificultad en la extracción de la fibra.

Proceso de Obtención

Según Checa Gordillo & Jurado (2001), esta planta se cultiva principalmente en la provincia de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi, y su crecimiento se realiza en óptimas condiciones en lugares donde la temperatura oscila los 18° a 24°, y la humedad relativa se encuentra entre 50 y 70%.

Para la cosecha de esta planta, se realiza una práctica conocida como “desbajerada” en la cual unos meses antes de la cosecha se realiza un corte en las hojas que están en contacto con el suelo, mismas que suelen estar frecuentemente dañadas. Posteriormente se realiza el proceso de corte final, el cual consiste en desprender un número de hojas de la planta utilizando un machete. Al terminar este proceso se procede a la recolección de las hojas y a su almacenamiento por un período de 24 a 48 horas para su posterior desfibrado.

La operación de desfibrado consiste en macerar y raspar la hoja hasta liberar la fibra, este proceso se puede realizar manualmente o mediante el uso de una máquina(fig. 12). Debido a su ineficiencia y gran cantidad de residuos – al usar el sistema manual de tallado para el desfibrado se desperdicia cerca del 50% del material – el método manual ha caído en desuso por sus costos elevados, razón que llevo a que en la actualidad se emplea la maquina desfibradora para conseguir esta materia. La máquina desfibradora funciona con un motor de 3 a 6hp. (Checa Gordillo & Jurado, 2001)

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$45.65

Estabilización del suelo mediante el uso del material

La cabuya al ser una fibra vegetal mejora las propiedades de tracción y flexión del adobe, así mismo reduce las fisuras a retracción que se producen en la tierra. Existen estudios (Montes Bernabé, 2009) donde se menciona que el bagazo de agave – materia similar a la fibra estudiada – mejora la resistencia a compresión de la tierra, por lo que se cree que el uso del material investigado optimizaría la resistencia a compresión de la tierra, sin embargo se debería realizar ensayos para confirmar o desechar dicha hipótesis.



fig. 12 - Fibra de Cabuya



Evaluación de Fibra de Agave (Cabuya)

Impacto Ambiental

Para calcular la energía incorporada en la obtención de este material se debería tomar en cuenta si el proceso de obtención se realiza por métodos manuales o mecánicos, Arguello Mendez & Cuchí Burgos(2008) toman el costo de consumo energético así como de emisiones de CO2 de las fibras vegetales como nulo debido a la naturaleza de los materiales. Sin embargo la obtención de dicha fibra es compleja en el medio donde se desarrolla el estudio, si bien es un material existente en la región es accesible en pocas cantidades por lo que se necesita transportar la materia prima de otros sectores cercanos para su producción en masa, problema que repercute en el costo energético y la energía incorporada del material debido al consumo de combustible en el transporte. Al ser un material orgánico su degradación al cumplir su ciclo de vida no produce impactos ambientales significativos. Al tener en cuenta estas connotaciones se lo evaluará en la categoría MUY BUENO(4).

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Al ser un compuesto natural, en su obtención no intervienen materiales reciclados por lo que se considera como MALO (1).

Economía

Disponibilidad: como ya mencionamos la cabuya de la sierra es poco utilizada debido a la dificultad en la extracción de la misma, por lo que se hace necesario el uso de fibras de cabuya provenientes de otras provincias, solo así es posible la obtención en grandes cantidades y de manera continua. Por estas razones se lo considerará al material como BUENO (3)

Mejora de Propiedades Técnicas

Al ser una fibra vegetal se conoce que las mismas al mezclarse con tierra ayudan a mejorar las condiciones de retracción de las piezas. Así mismo ya se mencionó que el uso de esta fibra podría mejorar la resistencia a compresión

del bloque de tierra, razón por la cual encasillaremos a este material en la categoría MUY BUENO (4).

Cáscara de Arroz

La cascara de arroz o conocida también como "pajilla" es un producto de origen vegetal, el mismo se considera un desecho de la producción del arroz. Según González(s/f) la composición química de la cáscara de arroz es similar al de la madera, contiene compuestos como la celulosa, lignina, resinas y una alta proporción de sílice(18%). Al ser el arroz un producto trascendental en la conformación de la canasta familiar su producción se da de manera masiva razón por la cual el desecho proveniente en sus procesos de elaboración (cáscara de arroz) son significativos(Valverde, et al., 2007).(fig. 13)

Este desecho puede ser aprovechado en la construcción de manera natural, tratada, molida o quemada dependiendo del uso y empleo para un determinado caso (Salas&Castro, 1985). Sus propiedades fisicoquímicas, son destacables, entre las cuales podemos mencionar su contenido de humedad, el cual es menor al 5%, en su composición química. (Valverde, et al., 2007).



fig. 13 - Cáscara de arroz



En cuanto a los usos de la cáscara de arroz encontramos:

Usos ganaderos.- camas para animales, abonos, energéticos para la producción de combustible y protección del hielo,

Constructivos.- mejoramiento de suelos, conductor térmico, estabilizador de morteros entre otros.

Proceso de Obtención

El proceso de producción de arroz cuenta con una serie de pasos, los mismos que pueden ser de forma mecánica o manual, donde depende de la extensión de terreno sembrado, estos son: La elección de la época de siembra depende de la zona, preparación del terreno y riego. Todos estos son los procesos previos a la cosecha en donde se separan los granos de arroz y luego se realizan los procesos de limpieza y secado para posteriormente colocarlos en sacos. Para la obtención de la cascara, el arroz es colocado en un molino haciéndolo pasar por rodillos de jebe donde se separa la cascara. La relación que se obtiene por la cosecha de arroz es de 5 a 1, es decir por cada 5 toneladas de arroz se obtiene una tonelada de cascara. (ARGOS, 2013).

Cabe mencionar que el uso de este material como mejoramiento para la optimización de las características del suelo, se puede realizar mediante la quema de las cascarillas conformando cenizas, sin embargo, para este proceso se debe fundir las cascarillas a una temperatura de 300°, lo cual deriva en un alto gasto energético, razón por la que se estudiará el material en su estado natural.

Al ser el arroz uno de los productos principales en la canasta familiar su producción es masiva, lo que garantiza la obtención de sus residuos. Considerándose la cáscara de arroz como un material de desecho derivado de estos procesos es accesible en grandes cantidades y con facilidad.

Este material se puede conseguir en el mercado actual en sacos de 50kg y su costo esta alrededor de \$0.20.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

Al mezclar la cáscara de arroz con tierra la mejora de la resistencia a la compresión no es significativa, sin embargo se debería realizar ensayos para cada caso puntual con el fin de conocer la mejora del material en un determinado tipo de suelo. En lo que respecta al mejoramiento como material impermeabilizante existe una optimización de los suelos, sin embargo esta no es considerable (Milani&Freire, 2011).

Evaluación de la cascara de arroz

Impacto ambiental

Se considera EXCELENTE (5), ya que su obtención se realiza como un derivado de la cosecha del arroz y su impacto ambiental es casi nulo.

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera EXCELENTE (5), ya que proviene de un desecho del arroz y es susceptible a ser reutilizado o reciclado

Economía

Disponibilidad.- se considera MUY BUENO(4), ya que se puede conseguir con facilidad en el mercado, de igual manera, al ser la industria arrocera muy importante en nuestro medio, la producción de este insumo así como los desechos provenientes de su producción están disponibles en grandes cantidades y de manera continua.

Mejora de las propiedades técnicas

Se considera BUENO (3), ya que mejora la resistencia a la compresión de manera mínima, y la permeabilidad del barro.



3.3.6 Escorias de Fundición

Este producto se obtiene del reciclaje de materia prima ya procesada o como desecho de material de construcción civil con la finalidad de obtener un recurso sustentable, que pretende sustituir el empleo de aditivos minerales de alto costo energético en la construcción. Empresas dedicadas a la fundición de acero son responsables de generar considerables cantidades de desechos de este tipo -los mismos que provienen de altos hornos donde se funde el material-, quedando como residuo las mencionadas escorias que pueden ser empleada como estabilizante en la construcción. Esto brinda una serie de ventajas económicas y energéticas debido a que se puede aprovechar un compuesto que se considera un desecho (Ceccato, et al., 2009). (fig. 14)

Las escorias de fundición comúnmente son utilizadas como material de relleno de vías, o como agregado de hormigón, pero como nos menciona Mehta&Monteiro (1994) ctd. en Ceccato, et al. (2009), este reciclaje debe aprovecharse para conseguir un material cementante, y de esta manera reemplazar el uso del cemento como aglutinante utilizado en varios procesos.

La escoria granulada de fundición (EGF) tiene una estructura amorfa esta compuesta principalmente por óxidos de silicio y calcio, mismos que pueden funcionar como sustitución de parte del cemento (Aderibigbe&Ojobo, 1982). Este compuesto puede ser de dos tipos ferrosas y no ferrosas las mismas que definen su grado de peligrosidad y al mismo tiempo el proceso para tratarlas (Ceccato, et al., 2009).

Proceso de fabricación

Como ya mencionamos la obtención del producto para la fabricación del cemento obtenido por escorias se consigue mediante el empleo de altos hornos dedicados a la obtención de arrabio.

El Arrabio es un metal fundido obtenido en altos hornos por reducción del mineral de hierro, constituye la materia prima de la industria del hierro y acero.

Cabe destacar que el costo energético de este producto es considerado nulo, ya que su procedencia se da mediante el reciclaje o la reutilización de los desechos de fundición. La obtención de este material en el lugar de estudio es posible debido a que existen empresas que funden acero y desechan escorias dejándolas a la intemperie, o en su defecto las comercializan a precios bajos en comparación con aglutinantes empleados en la construcción contemporánea como el cemento, sin embargo estas escorias por si solas no contienen grandes propiedades aglutinantes.

El precio se debería estudiar la disponibilidad del producto en cada lugar, en el caso puntual de la ciudad de Cuenca, empresas como "Importadora Mejía" desechan los residuos de alto horno(escorias) razón por la cual se puede conseguir de manera gratuita el material.

Estabilización del suelo mediante el uso del material

Las escorias de fundición reaccionan positivamente como estabilizantes de suelo, ya que mejora su resistencia, siendo utilizado como material para vías y terraplenes. (Ceccato, et al., 2009)



fig.14 - Escorias de fundición



Evaluación de la cascara de arroz

Impacto ambiental

Se considera MUY BUENO (4), ya que su obtención es a partir de la producción del acero, el impacto ambiental es nulo así como la energía incorporada en su fabricación, debido a que se considera un desecho.

Uso de materiales reciclados y/o reutilización de materiales

Se considera EXCELENTE (5), ya que proviene de desechos.

Economía

Disponibilidad.- Se considera REGULAR (2), ya que se puede conseguir en el mercado, pero es necesario tener un proveedor encargado de tratar el producto para su uso, así mismo su accesibilidad en grandes cantidades no es posible.

Mejora de las propiedades técnicas

Se considera BUENO (3), ya que mejora la resistencia a compresión en cantidades poco significativas. En el caso de la permeabilidad no se encontró información que respalde la mejora en este apartado.

A continuación se presentan fichas con los datos tabulados y calificación de cada material para posteriormente pasar a la elección del estabilizante.



CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental					x	
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad	x					
Mejora de propiedades técnicas	x					
RESULTADOS	10	0	0	0	2	
TOTAL			12			

Tabla 6 - Calificación Estabilizante Químico, Cemento

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental					x	
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas		x				
RESULTADOS	0	8	0	0	2	
TOTAL			10			

Tabla 7 - Calificación Estabilizante Químico, Resinas Acrílicas

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental					x	
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS	0	4	3	0	2	
TOTAL			9			

Tabla 8 - Calificación Estabilizante Químico, Resinas Epóxi



CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental			x			
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas		x				
RESULTADOS	0	8	3	0	1	
12						

Tabla 9 - Calificación Estabilizante Químico, Silicato de Sodio

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental			x			
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad				x		
Mejora de propiedades técnicas				x		
RESULTADOS	0	0	3	4	1	
12						

Tabla 10 - Calificación Estabilizante Químico, Puzolana

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental	x					
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad					x	
Mejora de propiedades técnicas		x				
RESULTADOS	5	4	0	2	1	
12						

Tabla 11 - Calificación Estabilizante Químico, Aceite de Linaza



CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental		x				
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas		x				
RESULTADOS		12	0	0	1	
13						

Tabla 12 - Calificación Estabilizante Químico, Cabuya/Agave

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental		x				
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad	x					
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS		8	3	0	1	
12						

Tabla 13 - Calificación Estabilizante Químico, Cloruro de Sodio

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental				x		
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas	x					
RESULTADOS	5	4		2	1	
12						

Tabla 14 - Calificación Estabilizante Químico, Cal



CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental					x	
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad			x			
Mejora de propiedades técnicas	x					
RESULTADOS	5	4	0	2	1	
12						

Tabla 15 - Calificación Estabilizante Químico, Bitumen

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental		x				
Uso de materiales reciclados	x				x	
Disponibilidad				x		
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS	5	4	3	2	1	
15						

Tabla 16 - Calificación Estabilizante Químico, Escorias de Fundición

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental		x				
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS	0	8	3	0	1	
12						

Tabla 17 - Calificación Estabilizante Químico, Almidón de Yuca



CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental	x					
Uso de materiales reciclados	x					
Disponibilidad		x				
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS	10	4	3	0	1	
18						

Tabla 18 - Calificación Estabilizante Químico, Cáscara de Arroz

CRITERIO DE CALIDAD	CALIFICACIÓN					OBSERVACIONES
	EXCELENTE (5)	MUY BUENO (4)	BUENO (3)	REGULAR (2)	MALO (1)	
Impacto ambiental					x	
Uso de materiales reciclados					x	
Disponibilidad	x					
Mejora de propiedades técnicas			x			
RESULTADOS			10			

Tabla 19 - Calificación Estabilizante Químico, Yeso



3.4 Matriz para elección de estabilizante



3.4.1 Clasificación de estabilizantes por precio

Después de haber identificado el precio de los estabilizantes se ha procedido a realizar una clasificación en grupos por el precio y así dar una calificación a cada uno de estos. Para esto se ha realizado una comparación entre materiales donde se obtuvo el precio por kg de cada estabilizante.

Ya que se fabricará un adobe de medidas 0.15 x 0.30 x 0.12 cm, se ha calculado el volumen de mezcla necesaria para realizar dicha pieza, misma que corresponde a 0.0054m³ donde el 10% será correspondiente al estabilizante que es 0.00054m³.

Para obtener una medida que nos permita comparar el precio de los estabilizantes entre sí se realiza un ratio⁶. Este ratio divide el precio de cada uno de los estabilizantes para el valor más alto (resina epóxica), con el fin de obtener una medición en una escala de 1% al 100%. Cabe recalcar que para la obtención de la cantidad de estabilizante necesario para un volumen de 0.00054m³ se debe conseguir el peso específico de cada estabilizante como se muestra en la tabla 20.

Se emplea dicho método para calificar el precio, debido a que en este caso el precio por sí solo entre materiales no puede ser comparable, ya que el volumen del 10% de cada estabilizante presente en la mezcla para elaboración del adobe difiere según su tipo: sólido, líquido o semilíquido.

Para calificar este apartado se elaboró una tabla que contiene el precio de todos los estabilizantes estudiados, dividiendo en 5 grupos equitativos, de manera ascendente, obteniendo así una clasificación en 5 grupos, desde los más económicos en el grupo 1 hasta los más costosos en el grupo 5 como se muestra en la tabla 20 y 21.

-EXCELENTE - MUY BUENO: si el estabilizante se encuentra en el grupo 1 y 2 .

-BUENO-REGULAR: si el estabilizante se encuentra en el grupo 3 y 4.

-MALO: si el estabilizante se encuentra en el grupo 5 .

3.4.2 Matriz final

Después de realizada la evaluación de los materiales, se elaboró una matriz que comparará no solo su calidad – evaluada por los parámetros descritos anteriormente – sino también su precio; para de esta manera elegir un estabilizante que proporcione mejoras técnicas y cuyo costo permita la elaboración de adobes en grandes cantidades.

Para obtener la calificación final de cada material se realizó una ponderación que busca dar mayor importancia a ciertos parámetros considerados indispensables. Se asignó la ponderación más alta al parámetro de mejoras técnicas, con un porcentaje del 30% ya que de esta influirá directamente en la calidad final del producto. Se asignó un porcentaje del 20% a impacto ambiental, disponibilidad y precio; y un 10% al apartado de materiales reciclados. Si bien para este estudio se considera de gran importancia la obtención de estabilizantes de bajo consumo energético, creemos 2 de los 5 parámetros de evaluación existentes en esta matriz permiten valorar el consumo energético- materiales reciclados e impacto ambiental - y se ponderan con un 30% en total, dando así la importancia que se requiere a este apartado. Cabe señalar que este método podría funcionar para la elección de estabilizantes en futuras propuestas de mejoramiento ajenas a las realizadas en este estudio, siempre y cuando se investigue cada material y se lo incluya en la matriz, así mismo se deberá evaluar la ponderación que se dará a cada parámetro de evaluación.

Se ha obtenido un ratio de calidad que se consigue después de tabular las fichas de evaluación expuestas anteriormente donde la puntuación máxima posible será 25pts. Con el fin de obtener una medida que nos permita comparar la calidad de cada estabilizante dividiremos la valoración alcanzada para la máxima calificación, creando un ratio que mide la calidad de los materiales estudiados entre sí en una escala de 1% al 100% (Tabla 21).

6. Se denomina ratio a la relación matemática entre dos cantidades o medidas que permiten establecer comparaciones también es denominada razón o indicador. La relación puede ser establecida mediante cualquier operador matemático siendo el más usado la división. (Boal Velasco, s.f)



ESTABILIZANTE	PRECIO POR 50 Kg	PRECIO POR Kg	PESO ESPECIFICO	Kg POR 1 m3	PRECIO POR 1 m3	CALIFICACION PRECIO	RATIOS
Cascara de arroz	0.20	0.004	780	780.00	3.12	5	100.00%
Escorias de fundicion	0.50	0.010	1500	1500.00	15.00	5	100.00%
Puzolana	0.85	0.017	1100	1100.00	18.70	5	100.00%
Cabuya	45.65	0.913	60	60.00	54.78	4	80.00%
Cal	5.27	0.105	1000	1000.00	105.40	4	80.00%
Cloruro de sodio	4.50	0.090	1200	1200.00	108.00	4	80.00%
Cemento	7.47	0.149	1200	1200.00	179.28	3	60.00%
Yeso	8.12	0.162	1250	1250.00	203.00	3	60.00%
Almidon de yuca	38.00	0.760	500	500.00	380.00	3	60.00%
Silicato de sodio	45.00	0.900	1380	1380.00	1242.00	2	40.00%
Bitumen	147.50	2.950	800	800.00	2360.00	2	40.00%
Resinas acrilicas	131.96	2.639	1010	1010.00	2665.52	2	40.00%
Aceite de linaza	357.45	7.149	940	940.00	6720.00	1	20.00%
Resina epoxica	312.33	6.247	1170	1170.00	7308.60	1	20.00%

Tabla 20 - Matriz para calificar el precio de los materiales

PRECIO POR 1 m3	CALIFICACION
Ratio > 90%	5
60% < Ratio < 90%	4
40% < Ratio < 60%	3
20% < Ratio < 40%	2
Ratio < 20%	1

Tabla 21 - Calificación de materiales según porcentaje.

ESTABILIZANTE	IMPACTO AMBIENTAL	MATERIAL RECICLADO	DISPONIBILIDAD	MEJORA TECNICA	PRECIO	ANALISIS NO PONDERADO	ANALISIS PONDERADO	RATIOS CALIDAD
Cascara de arroz	5	5	4	3	5	22	21.00	84%
Cloruro de sodio	4	1	5	3	4	17	18.00	72%
Cal	2	1	4	5	4	16	18.00	72%
Escorias de fundicion	4	5	1	3	5	18	17.00	68%
Cabuya	4	1	4	3	4	16	17.00	68%
Cemento	1	1	5	5	3	15	17.00	68%
Almidon de yuca	4	1	4	3	3	15	16.00	64%
Silicato de sodio	3	1	4	4	2	14	15.50	62%
Yeso	1	1	5	3	3	13	14.00	56%
Puzolana	3	1	2	2	5	13	13.50	54%
Aceite de linaza	5	1	1	4	1	12	13.50	54%
Resinas acrilicas	1	1	4	4	2	12	13.50	54%
Resina epoxica	1	1	4	3	1	10	11.00	44%
Bitumen	1	1	3	3	2	10	11.00	44%
PONDERACION	20.00%	10.00%	20.00%	30.00%	20.00%			

Tabla 22 - Matriz para calificar los materiales / ratio de calidad



3.5 Diseño de Mezclas para Adobes Prensados

3.4.1 Diseño de Mezclas para Adobes Prensados

Después de elegir los estabilizantes más adecuados para realizar la propuesta de mejoramiento, se procederá a la elaboración de dosificaciones necesarias previas a la elaboración de los adobes prensados.

Los ensayos de granulometría, índice de plasticidad y compactación (proctor) con los suelos de Baños, nos indican que contamos con un suelo muy plástico debido al alto porcentaje de arcilla, que después del ensayo granulométrico se pudo conocer que contiene un 61% de esta materia. Como ya habíamos mencionado en el diseño de los adobes de manera tradicional, al momento de fabricarlos se debe agregar arena a la mezcla para de esta manera realizar la estabilización física con el fin de obtener una mayor resistencia a la compresión de la pieza.

Además de la estabilización física antes mencionada, en la propuesta de mejora se realizará una estabilización química mediante el uso de los compuestos elegidos en la tabla 22, (cascara de arroz, cloruro de sodio, cal)

Para la elaboración de los adobes sometidos a la prensa se eligió una dosificación del 60% de arena y 40% de arcilla, siendo estos los mismos porcentajes que se utilizaron en la fabricación de los adobes tradicionales; la diferencia en el diseño de la dosificación en este caso está en la cantidad de agua empleada, ya que para los adobes tradicionales se agrega agua hasta que el barro se encuentre en un estado plástico, desarrollándose ésta dosificación de manera empírica. Al contrario, en la elaboración de la propuesta de mejoramiento el porcentaje de agua se obtiene después de realizado el ensayo de compactación, el mismo que nos da la cantidad óptima de agua para la compactación de un determinado suelo. En el caso del suelo de Baños, el ensayo nos indica que el porcentaje óptimo de agua oscila el 18%, a esto se tendría que sumar el porcentaje de humedad contenido naturalmente en el suelo (6%), por lo que finalmente el porcentaje de humedad, es decir, el porcentaje de agua necesaria para realizar los adobes prensados esta entre el 24 al 25%.

Posteriormente al tener la mezcla con la dosificación ya mencionada se procedió a realizar los adobes prensados en tres grupos diferentes.

La primera serie de adobes se realizó empleando la estabilización física y el prensado, es decir, no se utilizó estabilizante alguno; con el fin de comparar estos adobes prensados o adobes “tipo” con los adobes que llevarán un estabilizante químico en su mezcla y de esta manera estudiar la mejora del estabilizante en los mampuesto de tierra.

La segunda tanda de adobes se realizó estabilizando la mezcla con cascara de arroz. Se realizó 3 dosificaciones diferentes (3%, 6% y 10%) para determinar que dosificación del compuesto da mejores resultados.

La tercera tanda realizada usa como estabilizante el cloruro de sodio, en dosificaciones del 3%, 6% y 10%. Cabe destacar que a estas muestras se adicionará un 2% de cal, ya que después de la investigación realizada se ha conocido que agregar este compuesto en esa cantidad y al mezclarse con la sal estabiliza aún mas la mezcla de tierra.

Después de determinar los porcentajes de cada compuesto en el diseño de las mezclas, se procedió a realizar una dosificación en volumen para poder elaborar los adobes.

Se decidió fabricar adobes prensados de dimensiones 15x30x12 cm, posteriormente se calculó el volumen necesario de cada uno de los materiales para la elaboración de una pieza. Y finalmente se calculó la cantidad de material necesario para elaborar 30 adobes prensados. Con el fin de realizar una correcta dosificación en campo, en las tablas 24 a la 33 se añadió un apartado donde el diseño de mezclas se encuentran en volumen, misma que puede ser utilizada para la dosificación en campo.

LARGO	ANCHO	ALTO	VOLUMEN TOTAL
m	m	m	m ³
0.30	0.15	0.12	0.0054

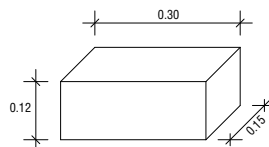


Tabla 23 - Dimensiones de la pieza de adobe



Teniendo en cuenta la composición de la tierra del sector de Baños es de 61% de arcilla y 39% de arena como se muestra en la tabla 24, se buscara alcanzar una dosificación de arcilla del 40% y arena de 60%. Para lo cual se agregara arena extra en una proporción que permita alcanzar la composición deseada en cada uno de los diseños. Al agregar la arena extra en la tabla 24 mostrada anteriormente, se aumenta el volumen total de la mezcla haciéndolo para fabricar 1,52 adobes como se muestra en la tabla 25. Así que mediante una operación matemática simple (Regla de tres), reduciremos cada compuesto de forma proporcional para conseguir una mezcla total para 1 adobe (tabla 26).

Despues de realizar dicho proceso se obtiene como resultado la dosificación final que se muestra en la tabla 27.

Luego de obtener la primera dosificación para un adobe con tierra de Baños -estabilizado físicamente con arena extra-, se tiene claro que la proporción de arena que se agregue a la mezcla cambiara según la cantidad de arcilla.

A continuación se presentaran las tablas de dosificación para la mezcla de un adobe prensado con tierra de Baños, arena extra y estabilizante es sus distintas proporciones. Es importante mencionar que al porcentaje de arcilla se lo considerara como arcilla + estabilizante, ya que al agregar un estabilizante químico, el porcentaje sumado se resta del porcentaje de arcilla de la mezcla original.

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBE	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100	0.0054	5.40
Arcilla Baños	61	0.0033	3.29
Arena Baños	39	0.0021	2.11

Tabla 24. Dosificación de mezcla para un adobe prensado con tierra del sector de Baños.

TOTAL DE MEZCLA PARA 1.52 ADOBES con arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0082	8.24
Arcilla Baños	40.00	0.0033	3.29
Arena Baños	25.57	0.0021	2.11
Arena Extra	34.43	0.0028	2.84

Tabla 25. Dosificación de mezcla para 1.52 adobe prensado con tierra de Baños y arena extra.

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBE con arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	40.00	0.0022	2.16
Arena Baños	25.57	0.0014	1.38
Arena Extra	34.43	0.0019	1.86

Tabla 26. Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños y arena extra.

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBE con arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	65.57	0.0035	3.54
Arena Extra	34.43	0.0019	1.86

Tabla 27. Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños y arena extra.



TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	38.13	0.0021	2.06
Arena Baños	24.38	0.0013	1.32
Arena Extra	35.63	0.0019	1.92
Cáscara de arroz 3%	1.88	0.0001	0.10

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	62.50	0.0034	3.38
Arena Extra	35.63	0.0019	1.92
Cáscara de arroz 3%	1.88	0.0001	0.10

Tabla 28 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra y 3% de cáscara de arroz como estabilizante

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	36.42	0.0020	1.97
Arena Baños	23.28	0.0013	1.26
Arena Extra	36.72	0.0020	1.98
Cáscara de arroz 6%	3.58	0.0002	0.19

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	59.70	0.0032	3.22
Arena Extra	36.72	0.0020	1.98
Cáscara de arroz 6%	3.58	0.0002	0.19

Tabla 29 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra y 6% de cáscara de arroz como estabilizante

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	34.37	0.0019	1.86
Arena Baños	21.97	0.0012	1.19
Arena Extra	38.03	0.0021	2.05
Cáscara de arroz 10%	5.63	0.0003	0.30

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	56.34	0.0030	3.04
Arena Extra	38.03	0.0021	2.05
Cáscara de arroz 10%	5.63	0.0003	0.30

Tabla 30 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra y 10% de cáscara de arroz como estabilizante



TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	36.97	0.0020	2.00
Arena Baños	23.64	0.0013	1.28
Arena Extra	36.36	0.0020	1.96
Sal 3% + cal 2%	3.03	0.0002	0.16

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	60.61	0.0033	3.27
Arena Extra	36.36	0.0020	1.96
Sal 3%	1.82	0.0001	0.098
cal 2%	1.21	0.00007	0.065

Tabla 31 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra, 3% de cloruro de sodio y 2% de cal como estabilizante

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	35.36	0.0019	1.91
Arena Baños	22.61	0.0012	1.22
Arena Extra	37.39	0.0020	2.02
Sal 6% + cal 2%	4.64	0.0003	0.25

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	57.97	0.0031	3.13
Arena Extra	37.39	0.0020	2.02
Sal 6%	3.48	0.00019	0.19
cal 2%	1.16	0.00006	0.063

Tabla 32 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra, 3% de cloruro de sodio y 2% de cal como estabilizante

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Arcilla Baños	35.36	0.0019	1.91
Arena Baños	22.61	0.0012	1.22
Arena Extra	37.39	0.0020	2.02
Sal 6% + cal 2%	4.64	0.0003	0.25

TOTAL DE MEZCLA PARA 1 ADOBES con estabilizante arena extra	%	Volumen (m3)	Volumen en (L)
	100.00	0.0054	5.40
Tierra Baños	57.97	0.0031	3.13
Arena Extra	37.39	0.0020	2.02
Sal 6%	3.48	0.00019	0.19
cal 2%	1.16	0.00006	0.063

Tabla 33 - Dosificación de mezcla para 1 adobe prensado con tierra de Baños, arena extra, 3% de cloruro de sodio y 2% de cal como estabilizante



3.6 Proceso de Producción de Adobes Prensados



3.5.1 Proceso de Producción de Adobe Prensado

Para la producción de los adobes prensados se siguió en su mayoría las pautas señaladas por Seidedos&López(2010) en su artículo " Unidades de Producción de BTC"; ya que se ha considerado a este proceso como el más adecuado para la producción de los bloques de tierra cruda.

Identificación

Para la producción del adobe prensado es imperativo conocer el tipo de tierra con la que se va a trabajar, esto se realizó mediante los ensayos de laboratorio descritos en la sección 1.3. Posteriormente la recolección y secado de la tierra debe realizarse en un espacio donde la humedad de la misma no tenga cambios bruscos, con el fin de ejercer un mayor control, ya que uno de los factores más importantes en la elaboración de adobes prensados es a cantidad de agua. Además de estos se debe procurar que el suelo este libre de vegetación, piedras y cualquier tipo de elementos ajenos a la misma (Minke, 2001). En el caso de la propuesta de mejoramiento realizada en esta investigación se llegó a identificar un espacio donde la tierra se encontraba bajo una cubierta de zinc.

Preparación

Toda la tierra que se encuentre lista para el trabajo debe ser preparada previamente, es decir, luego de un análisis del tipo de suelo, se determinara el tipo de maquinaria necesaria para obtener un suelo con un correcto tamaño de partículas, pudiendo ser la trituradora, pulverizadora o herramientas menores para el movimiento de tierras que puedan facilitar el trabajo. La finalidad es obtener una materia prima óptima que permita el correcto desempeño en las siguientes fases de la producción de los adobes.

En cuanto a los estabilizantes empleados en esta investigación se debe acotar que para el cloruro de sodio no existe ningún tipo de proceso previo antes de realizar el mezclado con la tierra. En cuanto a las cáscaras de arroz al ser un material orgánico se recomienda realizar un proceso denominado mineralización⁷ con el fin de eliminar los residuos orgánicos.

Este proceso se puede realizar por distintos métodos, el más conocido es

mediante la inmersión del compuesto en soda caustica rica en silicato de soda. Para este procedimiento primero se baña en cal la cáscara de arroz y posteriormente se coloca la solución de silicato de soda que se compone de una parte de dicho compuesto y nueve partes de agua. (González, s/f) Según el mismo autor que expone dicho proceso de mineralización al realizar este proceso se eliminan los residuos orgánicos del material, y a su vez se incrementa la resistencia obtenida con la cáscara sin tratar. Se realiza este proceso para eliminar los residuos orgánicos de la cáscara de arroz que conformará la pieza con el fin de evitar la entrada de insectos en la misma. Según González(s/f) este proceso podría repercutir en la resistencia final de una pieza aumentándola. Para esta investigación no se empleó ningún método de mineralización ya que existe otra opción de proteger al adobe prensado ante los mencionados agentes externos la cual radica en proteger la pieza después de realizada el muro mediante impregnaciones superficiales mismas que se especifican en la sección 3.7

Mezclado

El proceso de mezclado dependerá netamente de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, ya que después de conocer el tipo de tierra con la que se va a trabajar, se decidirá el porcentaje de arcilla, arena y la humedad óptima. De esta manera obtendremos una dosificación en volumen con una correcta cantidad de arcilla, arena y estabilizante. A esta mezcla se la conoce como mezcla seca.

El proceso de mezclado con agua se realiza luego del mezclado seco, procurando que el agua agregada a la mezcla seca se realice de manera equilibrada, con la finalidad de tener una mezcla homogénea sin crear grandes masas de tierra comúnmente conocidas como grumos; este proceso se debe realizar en una mezcladora, es importante mencionar que Seidedos&Lopez(2010) recomiendan no utilizar hormigoneras ya que estas no consiguen una masa homogénea. La dosificaciones utilizadas en la investigación, así como el porcentaje de agua óptimo, son resultado del diseño de mezclas elaborado en la sección 3.4.1

7. "La mineralización es el proceso de transformación de los despojos animales y vegetales en sustancias minerales inorgánicas sencillas y solubles." (infojardin.net, 2015)

Prensado

Esta es la etapa principal en la elaboración de los adobes, ya que su resistencia final dependerá en gran medida de este proceso aunque la calidad del mismo obedecerá al correcto desempeño en las fases anteriores.

Para un buen trabajo de la prensa es necesario una mezcla correcta, es decir, una mezcla trabajable, sin grumos o elementos ajenos a la tierra; de igual manera es de suma importancia realizar una dosificación adecuada. El tiempo empleado en prensar la mezcla es vital ya que si este proceso demora por problemas en los puntos mencionados anteriormente se pierde la humedad óptima por la evaporación del agua y la mezcla no será la adecuada. La prensa empleada en esta propuesta de mejoramiento aplica una fuerza de hasta 30mpa en el prensado de las piezas. (fig. 15)

Secado

Si bien las fases indicadas anteriormente influyen en la calidad del adobe prensado, la fase de secado repercute de manera considerable y es la que determinara la calidad final del producto. Los bloques deben ser colocados de canto en filas con una respectiva separación para facilitar la ventilación y con un máximo de 5 bloques de altura. (fig. 16)

El proceso de secado tiene que ser a la sombra y protegido del viento para evitar agrietamientos y fisuras a causa de la retracción; lo que podría repercutir en la resistencia mecánica de la pieza.

En la propuesta de mejoramiento realizada se elaboraron alrededor de 20 adobes prensados para cada dosificación, lo que ha dado un total de 140 bloques aproximadamente. Se realizó dicha cantidad de bloques con el fin de contar con muestras suficientes para elaborar los ensayos de resistencia.



fig. 15 - Máquina para la elaboración de Adobe prensado

1. Identificación	Análisis y pruebas
	Acopio y secado
2. Preparación	Tamizado
	Triturado
3. Mezclado	Dosificación seca
	Dosificación de agua
4. Prensado	Prensado
	Desmoldeo
5. Secado	Curado
	Secado

Tabla 34 - Proceso de Elaboración de Adobe



fig. 16 - Secado de Adobes Prensados



3.7 Ensayos de Resistencia

3.6.1 Ensayos Resistencia

Para evaluar la resistencia a la compresión simple se siguió el procedimiento descrito en la normativa UNE 41410:2008 mencionada en el apartado 1.5, para desarrollar el mismo se ensayaron 6 piezas completas de adobe prensado por cada dosificación realizada.

Con el fin de valorar si el tiempo de secado de las piezas influye en la resistencia a compresión se han realizado ensayos de compresión simple a los 15, 25 y 32 días de secado. La variación de los tiempos para realizar los ensayos obedecieron a la disponibilidad de la máquina.(fig 17, 18)



fig. 17 - Equipo para ensayos de resistencia a la compresión, Resultados



fig. 18 - Equipo para ensayos de resistencia a la compresión, Proceso

Para evaluar la permeabilidad de la pieza se elaboró el ensayo de absorción por capilaridad, el mismo que sigue la normativa UNE-EN 41410:2008 y que se basa en la normativa española 772-11, el procedimiento para realizar el ensayo se especifica en el apartado 1.5. (fig. 19)

Se ensayaron 6 piezas completas por cada dosificación realizada y el promedio de éstas dieron el coeficiente de absorción "Cb".

Si bien el ensayo de humectación es una prueba de laboratorio exigida por la norma UNE-EN 41410:2008, la comprobación de esta se da por medio simple observación como ya se describió en la sección 1.5. Para este ensayo se empleó 2 piezas completas de adobe prensado por cada dosificación, los resultados se presentan en las tablas 52 a la 58.

Adicional a esto se colocan diagramas que muestran la resistencia a compresión obtenida al someter los adobes al ensayo, éstos diagramas indican el comportamiento del bloque al ser sometido a compresión hasta llegar a su pico máximo de resistencia en función del tiempo(diag 2, 3, 4). Cabe recalcar que en los diagramas se muestran el comportamiento de un adobe prensado por cada dosificación realizada. Se eligió los bloques de tierra que consiguieron la mayor resistencia en cada dosificación y se realizaron diagramas con los resultados a los 15, 25, 32 días.



fig. 19 - Ensayo de absorción por capilaridad



3.6.2 Resultados Ensayos de Resistencia a Compresión

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Ninguno		15 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
40 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
7667.7	8308.6	6840.5	7575.5	8425.8	6790.5
Carga Promedio			Resistencia		
7601.43 kgf			16.89 Kg /cm ²		

Tabla 35 - Ensayo Compresión Simple - muestra sin estabilizante 15 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Ninguno		25 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
40 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
9873.00	10207.60	9094.70	9747.90	10282.70	9144.70
Carga Promedio			Resistencia		
9725.1 kgf			21.61 Kg /cm ²		

Tabla 36 - Ensayo Compresión Simple - muestra sin estabilizante 25 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Ninguno		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
40 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
10106.9	10220.4	11555.0	11439.30	10295.5	10147.50
Carga Promedio			Resistencia		
10627.43 kgf			23.62 Kg /cm ²		

Tabla 37 - Ensayo Compresión Simple - muestra sin estabilizante 32 días

Interpretación de Resultados

Muestras sin estabilizante químico

- Los bloques prensados en cuya dosificación no se empleo ningún tipo de estabilizante químico - a los cuales denominaremos "bloques tipo" - han obtenido resistencias superiores a la especificada en la normativa Peruana E.080, la cual especifica que la resistencia debe ser superior a 12kg/cm². La resistencia promedio de los "bloques tipo" ha sido 20,71kg/cm².
- Se ha determinado que el tiempo de secado influye directamente en el aumento de la resistencia a la compresión, es decir, a mayor tiempo de secado existe una mayor resistencia a este esfuerzo, como se puede corroborar en la tabla 37 donde se ha obtenido un pico de resistencia de 23.62kg/cm² a los 32 días de secado.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (3%)		15 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
37 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
10213.2	10927.0	11213.8	11321.0	11139.0	10197.0
Carga Promedio			Resistencia		
10835.17 kgf			24.08 Kg /cm ²		

Tabla 38 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (3%) 15 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (3%)		25 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
37 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
12578.80	14002.50	12215.30	12090.20	14077.60	12628.80
Carga Promedio			Resistencia		
12932.20 kgf			28.74 Kg /cm ²		

Tabla 39 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (3%) 25 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (3%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
37 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
14181.60	10903.10	12796.60	12680.90	10978.20	14222.20
Carga Promedio			Resistencia		
12627.10 kgf			28.06 Kg /cm ²		

Tabla 40 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (3%) 32 días

Interpretación de Resultados

Muestras con cáscara de arroz en un 3%

- Al agregar a la dosificación cáscara de arroz como estabilizante químico existe una mejora en la resistencia a compresión, esto si comparamos con los “bloques tipo”. Al agregar el 3% del estabilizante se produce una mejora en la resistencia a compresión del 23%(resistencia promedio=26,63kg/cm²).
- La resistencia a la compresión de los bloques aumenta con mayor tiempo de secado, comportandose de manera similar que los “bloques tipo”, sin embargo, se ha identificado que el bloque llega a un pico de resistencia a los 25 días de secado y su resistencia se estabiliza, ya que a los 32 días de elaborados los bloques se ha podido obtener una resistencia similar. (Tabla 39, Tabla 40)



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (6%)		15 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
34 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
8224.3	8638.2	8362.7	8375.5	8500.2	8223.1
Carga Promedio			Resistencia		
8387.33 kgf			18.64 Kg /cm ²		

Tabla 41 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (6%) 15 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (6%)		25 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
34 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
11857.50	10449.10	9976.10	9860.40	10524.20	11898.10
Carga Promedio			Resistencia		
10760.90 kgf			23.91 Kg /cm ²		

Tabla 42 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (6%) 25 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (6%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
34 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
12034.90	12918.30	12675.60	12575.60	12993.30	12059.90
Carga Promedio			Resistencia		
12542.93 kgf			27.87 Kg /cm ²		

Tabla 43 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (6%) 32 días

Interpretación de Resultados

Muestras con cáscara de arroz en un 6%

- Al agregar cáscara de arroz como estabilizante químico en una dosificación del 6% se produce una mejora del 14% (resistencia promedio=23.47kg/cm²), siempre comparando con el "bloque tipo".
- Se ha determinado que a mayor tiempo de secado existe una mejora en la resistencia a la compresión, al igual que ocurre con las dosificación del 3% de material, sin embargo, al agregar un 6% del compuesto se ha identificado que a los 32 días de secado existe una mayor resistencia.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (10%)		15 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
30 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
13534.2	11760.5	12708.1	13808.5	12934.0	11260.3
Carga Promedio			Resistencia		
12667.60 kgf			28.86 Kg /cm ²		

Tabla 44 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (10%) 15 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (10%)		25 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
30 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
11861.80	11673.60	14606.10	14481.00	11598.50	11811.80
Carga Promedio			Resistencia		
12672.13 kgf			28.16 Kg /cm ²		

Tabla 45 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (10%) 25 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cascara de arroz (10%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
30 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
13601.40	15568.10	11504.50	11354.50	15643.10	13676.40
Carga Promedio			Resistencia		
13558.00 kgf			30.13 Kg /cm ²		

Tabla 46 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cascara de arroz (10%) 32 días

Interpretación de Resultados

Muestras con cáscara de arroz en un 10%

- La dosificación que ha obtenido mejores resultados fue la correspondiente a la muestra que contiene 10% de material, dichas muestras han obtenido una mayor resistencia a la compresión y superan la resistencia obtenida por el “bloque tipo” en un 50%(resistencia promedio= 29.05kg/cm²).
- En cuanto al tiempo de secado, se ha determinado que al agregar 10% de este estabilizante, a los 15,25 y 32 días de elaborado los bloques, la resistencia a la compresión es similar en todos los casos; existe una mejora en la resistencia a la compresión a los 32 días de secado - comparando la obtenida a los 15 y 25 días de secado -, sin embargo, esta se considera mínima.



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cloruro de sodio (3%) + Cal (2%)		25 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
35 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
7967.00	8015.60	7163.90	7038.80	8090.70	8017.00
Carga Promedio			Resistencia		
7715.50 kgf			17.15 Kg /cm ²		

Tabla 47 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cloruro de Sodio (3%) + Cal (2%) 15 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cloruro de sodio (3%) + Cal (2%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
35 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
4833.40	7726.60	9406.00	9281.00	7776.60	4908.40
Carga Promedio			Resistencia		
7959.23 kgf			17.69 Kg /cm ²		

Tabla 48 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cloruro de Sodio(3%) + Cal (2%) 32 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cloruro de sodio (6%) + Cal (2%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
32 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
6899.1	3971.50	5081.20	3971.50	6924.50	5106.30
Carga Promedio			Resistencia		
5317.27 kgf			11.82 Kg /cm ²		

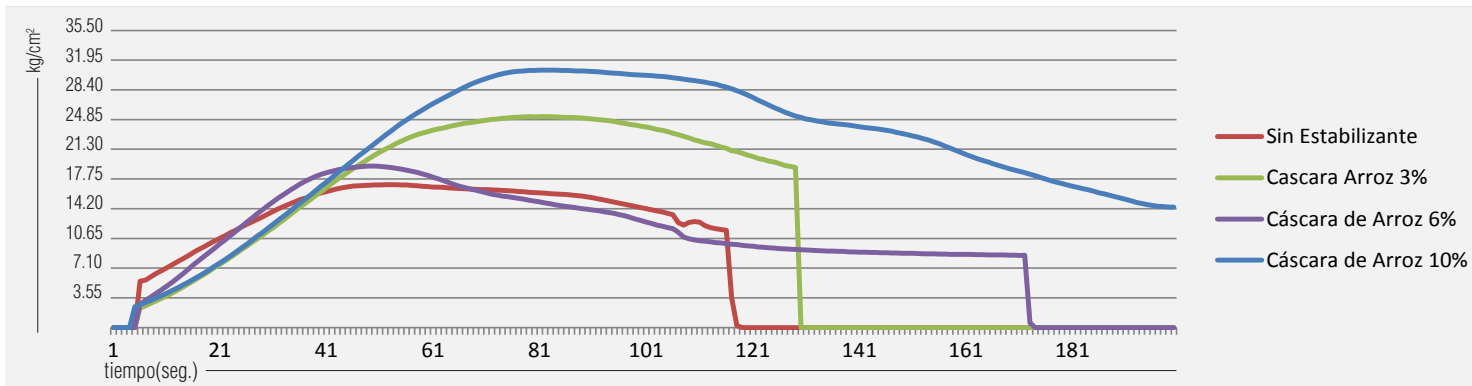
Tabla 49 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cloruro de Sodio (6%) + Cal (2%) 32 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE					
Suelo		Estabilizante		Días de secado	
Baños		Cloruro de sodio(10%) + Cal (2%)		32 días	
% arcilla-limos		% arenas		% Humedad	
28 %		60 %		24 %	
M1	M2	M3	M4	M5	M6
1527.00	4609.10	4395.50	4709.35	4170.50	1651.75
Carga Promedio			Resistencia		
3510.53 kgf			7.80 Kg /cm ²		

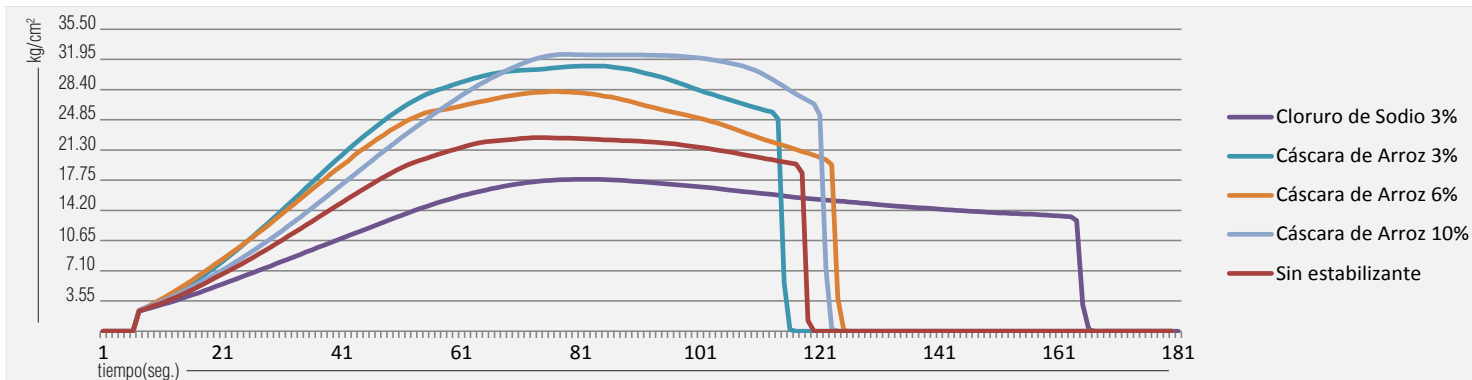
Tabla 50 - Ensayo Compresión Simple - muestra Cloruro de Sodio (10%) + Cal (2%) 32 días

Interpretación de Resultados

- Para el caso de las muestras estabilizadas con cloruro de sodio y sal, el ensayo a los 15 días de secado no ha podido ser realizado, debido a que los bloques contenían un alto porcentaje de humedad. A los 25 días de secado se ha observado que los bloques con 3% del compuesto podían ser sometidos a los ensayos de compresión ya que se encontraban con menor porcentaje de humedad. No obstante los bloques con 6% y 10% de cloruro de sodio aún tenían humedad. Posteriormente a los 32 días de secado se ha observado que los bloques con 6% y 10% de cloruro de sodio, aún contenían un alto porcentaje de humedad evidenciada en los cantos, sin embargo, se procedió al ensayo de compresión con el fin de conocer su resistencia.
- Los adobes prensados con el 3% de cloruro de sodio a los 15 días de secado y curado, obtuvieron resistencias superiores a la especificada en la normativa E.080 (12.kg/cm²), sin embargo, estas fueron inferiores a las obtenidas por los "bloques tipo". A los 32 días, la resistencia a compresión fue similar. Los adobes prensados con el 6% y 10% de cloruro de sodio ensayados únicamente a los 32 días - las muestras seguían húmedas a los 15 y 25 días - dieron como resultado resistencias extremadamente bajas que no cumplen con los mínimos especificados en la normativa.(11.82kg/cm², 7.80kg/cm² respectivamente).



diág. 2 - Ensayo Compresión Simple - 15 días de secado



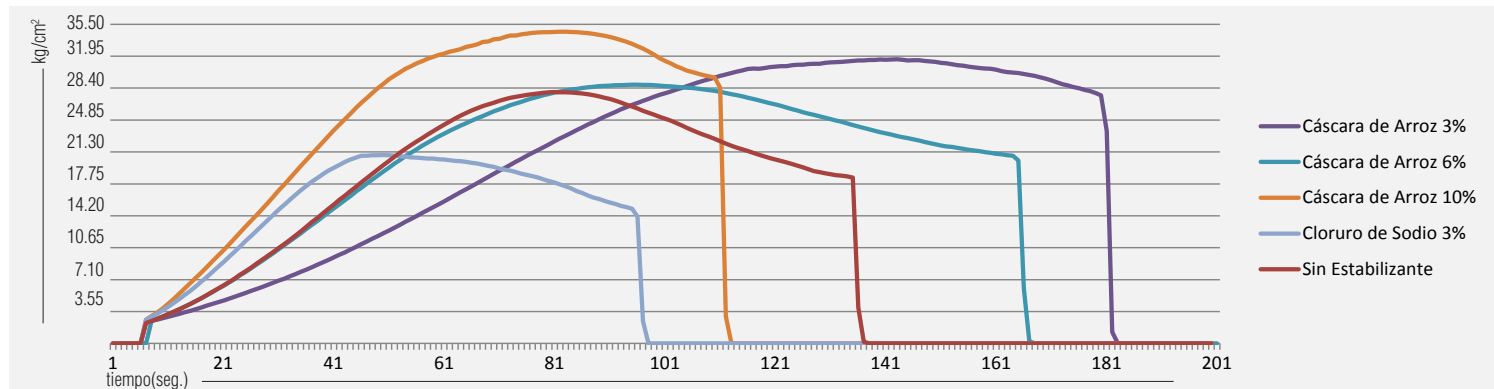
diág. 3 - Ensayo Compresión Simple - 25 días de secado

Interpretación de Resultados

Gráficas Ensayo Compresión Simple

- En los diagramas 2-3 se puede observar los picos de resistencia a los 15 y 25 días de secado, estos resultados han sido obtenidos en la realización de los ensayos de compresión simple. Dichos diagramas muestran la diferencia de resistencia alcanzada por los bloques

prensados, donde la pieza que mayor resistencia a conseguido a sido la que contiene en su dosificación 10% de cáscara de arroz como estabilizante químico.



diag. 4 - Ensayo Compresión Simple - 32 días de secado

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			
Suelo	% arenas	% Humedad	
Baños	60 %	24 %	
Estabilizante	% arcilla-limos	Carga Promedio	Resistencia
Ninguno	40 %	9317.99 kgf	20.71 Kg /cm ²
Cascara de arroz (3%)	37 %	12131.49 kgf	26.63 Kg /cm ²
Cascara de arroz (6%)	34 %	10563.72 kgf	23.47 Kg /cm ²
Cascara de arroz (10%)	30 %	12965.91 kgf	29.05 Kg /cm ²
Cloruro de sodio (3%) + Cal (2%)	35 %	7837.37 kgf	17.42 Kg /cm ²
Cloruro de sodio (6%) + Cal (2%)	32 %	5317.27 kgf	11.82 Kg /cm ²
Cloruro de sodio (10%) + Cal (2%)	28 %	3510.53 kgf	7.80 Kg /cm ²

Tabla 51 - Resistencia Promedio de muestras de Adobe Prensado

Interpretación de Resultados

Gráficas Ensayo Compresión Simple

- El diagrama 3 muestra la resistencia a compresión obtenida a los 32 días de secado de las piezas. De igual manera el pico máximo de resistencia fue conseguido por la pieza que contenía 10% de cáscara de arroz, sin embargo, con este tiempo de secado(32 días) la

resistencia a la compresión obtenida por las muestras que contienen una dosificación del 3% de cáscara de arroz es similar a la mencionada anteriormente.

3.6.3 Resultados Ensayos de Humectación

ESTABILIZATE: Cascara de arroz 3%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 52 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (3%)



fig. 20 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (3%)

ESTABILIZATE: Cascara de arroz 6%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 53 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (6%)



fig. 21 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (6%)

ESTABILIZATE: Cascara de arroz 10%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias	x	
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo	x	
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm	x	
OBSERVACIONES:		

Tabla 54 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (10%)



fig. 22 - Ensayo de Humectación - muestra Cáscara de arroz (10%)

3.6.6 Resultados Ensayos de Humectación

ESTABILIZATE: Cloruro de sodio 3% + Cal 2%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 55 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (3%) + Cal (2%)

ESTABILIZATE: Cloruro de sodio 6% + Cal 2%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 56 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (6%) + Cal (2%)

ESTABILIZATE: Cloruro de sodio 10% + Cal 2%		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 57 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (10%) + Cal (2%)



fig. 23 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (3%) + Cal (2%)



fig. 24 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (6%) + Cal (2%)



fig. 25 - Ensayo Humectación - muestra cloruro de sodio (10%) + Cal (2%)

ESTABILIZANTE: Ninguno		
CONDICIONES DE RECHAZO	Si	No
Grietas aleatorias		x
Hinchamiento		x
Pérdida de capacidad de suelo		x
Penetración de agua en más del 70% de la anchura		x
Perdida de fragmentos mayores a 50mm		x
OBSERVACIONES:		

Tabla 58 - Ensayo Humectación - muestra sin estabilizante



fig. 26 - Ensayo Humectación - muestra sin estabilizante

Interpretación de Resultados

- En los ensayos de humectación se ha observado que todas las piezas de adobe prensado realizadas cumplen con la normativa y son aptas, a excepción de la pieza estabilizada con un 10% de cáscara de arroz que presentó condiciones de rechazo, especialmente la identificada como “perdida de fragmentos de más de 50mm. Se ha identificado que la posible razón por la cual el bloque falla en este ensayo se debe a la cantidad de poros generada por la adición de la fibra vegetal.



3.6.4 Resultados Ensayos de Absorción

Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Ninguno	45000	9838	9690	10	13.43 g/(m ² x sec0.5)	10%
Ninguno	45000	8960	8825	10	12.25 g/(m ² x sec0.5)	9%
Ninguno	45000	9702.1	9158.7	10	49.30 g/(m ² x sec0.5)	38%
Ninguno	45000	9738	9570	10	15.24 g/(m ² x sec0.5)	12%
Ninguno	45000	9035	8885	10	13.61 g/(m ² x sec0.5)	11%
Ninguno	45000	9727.1	9238.7	10	44.31 g/(m ² x sec0.5)	34%
Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cascara de arroz 3%	45000	9687.6	9433.4	10	23.06 g/(m ² x sec0.5)	18%
Cascara de arroz 3%	45000	9765.1	9453.4	10	28.28 g/(m ² x sec0.5)	22%
Cascara de arroz 3%	45000	9934.2	9692.1	10	21.96 g/(m ² x sec0.5)	17%
Cascara de arroz 3%	45000	9091	8865	10	20.50 g/(m ² x sec0.5)	16%
Cascara de arroz 3%	45000	10192	9914	10	25.22 g/(m ² x sec0.5)	20%
Cascara de arroz 3%	45000	9455	9143	10	28.31 g/(m ² x sec0.5)	22%
Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cascara de arroz 6%	45000	10435	10304	10	11.88 g/(m ² x sec0.5)	9%
Cascara de arroz 6%	45000	11050	10919.7	10	11.82 g/(m ² x sec0.5)	9%
Cascara de arroz 6%	45000	10513	10391.1	10	11.06 g/(m ² x sec0.5)	9%
Cascara de arroz 6%	45000	10016	9825	10	17.33 g/(m ² x sec0.5)	13%
Cascara de arroz 6%	45000	10802	10403	10	36.20 g/(m ² x sec0.5)	28%
Cascara de arroz 6%	45000	9563	9245	10	28.85 g/(m ² x sec0.5)	22%
Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cascara de arroz 10%	45000	9520.6	8978.9	10	49.14 g/(m ² x sec0.5)	38%
Cascara de arroz 10%	45000	8495.6	8053.5	10	40.11 g/(m ² x sec0.5)	31%
Cascara de arroz 10%	45000	9632	9236	10	35.93 g/(m ² x sec0.5)	28%
Cascara de arroz 10%	45000	9254	8795	10	41.64 g/(m ² x sec0.5)	32%
Cascara de arroz 10%	45000	9348	9057	10	26.40 g/(m ² x sec0.5)	20%
Cascara de arroz 10%	45000	9451	9154	10	26.94 g/(m ² x sec0.5)	21%

Tabla 59 - Ensayo de Absorción por capilaridad

Interpretación de Resultados

Muestras sin ningún estabilizante y muestras con cáscara de arroz

- Se ha observado que el porcentaje de humedad promedio de los "bloques tipo" es del 19%.
- Los bloques estabilizados con un 10% del material absorben mayor cantidad de agua, llegando a un porcentaje de absorción promedio del 28%, sin embargo, las muestras que contienen 3% y 6% del material tienen un porcentaje de absorción del 19% y 15% respectivamente. Según Minke (2001), esto se debe a la cantidad de poros generados

debido a la mezcla de la tierra con fibras vegetales.

Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	10460	10346.7	10	10.28 g/(m2 x sec0.5)	8%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	10313	10077.8	10	21.34 g/(m2 x sec0.5)	17%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	10395	10169.7	10	20.44 g/(m2 x sec0.5)	16%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	10293	9893	10	36.29 g/(m2 x sec0.5)	28%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	9042	8897	10	13.15 g/(m2 x sec0.5)	10%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	45000	10147	9895	10	22.86 g/(m2 x sec0.5)	18%
Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	9538	9268	10	24.49 g/(m2 x sec0.5)	19%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	9966	9660	10	27.76 g/(m2 x sec0.5)	22%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	10265	9914	10	31.84 g/(m2 x sec0.5)	25%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	9463	9210	10	22.95 g/(m2 x sec0.5)	18%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	9645	9314	10	30.03 g/(m2 x sec0.5)	23%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	45000	10124	9845	10	25.31 g/(m2 x sec0.5)	20%
Estabilizante	Area sumergida en mm (As)	Mso,s en gr	mseco,s en gr	tiempo de inmersión en min (t)	Coefficiente de absorción "Cb"	Porcentaje
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	9252	8840	10	37.38 g/(m2 x sec0.5)	29%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	10455	10073	10	34.66 g/(m2 x sec0.5)	27%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	10420	10025	10	35.84 g/(m2 x sec0.5)	28%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	10075	9687	10	35.20 g/(m2 x sec0.5)	27%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	9650	9174	10	43.18 g/(m2 x sec0.5)	33%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	45000	9825	9485	10	30.85 g/(m2 x sec0.5)	24%

Tabla 59 - Ensayo de Absorción por capilaridad

igual que las fórmulas aplicadas se pueden encontrar en el apartado 1.7.

Interpretación de Resultados

Muestras sin ningún estabilizante y muestras con cáscara de arroz

- Las muestras estabilizadas con 3% de cloruro de sodio y 2% de cal reducen la absorción del agua en un 3% con respecto a los "bloques tipo"(19%). Las muestras estabilizadas con 6% y 10% de cloruro de sodio y un 2% de cal en ambos casos, tienen un porcentaje de absorción promedio mayor(21% y 28% respectivamente, siempre comparando con el "bloque tipo" que no contiene ningún estabilizante.
- Los promedios y resultados generales obtenidos en los ensayos de absorción se pueden observar tanto en la tabla 60 y 61. En la primera se ha empleado el coeficiente "Cb" obtenido de la Norma UNE EN 41410. Para el segundo caso se ha obtenido el porcentaje de humedad absorbido por la pieza, el proceso para obtener estos resultados al



ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD	
Suelo	
Baños	
Estabilizante	Coefficiente de absorción (Cb)
Ninguno	24.69
Cascara de arroz 3%	24.56
Cascara de arroz 6%	19.52
Cascara de arroz 10%	36.69
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	14.68
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	27.07
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	36.18

Tabla 60 - Ensayo de Absorción por Capilaridad, cálculo mediante coeficiente cb, promedios generales

ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD	
Suelo	
Baños	
Estabilizante	Coefficiente de absorción (Cb)
Ninguno	19%
Cascara de arroz 3%	19%
Cascara de arroz 6%	15%
Cascara de arroz 10%	28%
Cloruro de sodio 3% + Cal 2%	16%
Cloruro de sodio 6% + Cal 2%	21%
Cloruro de sodio 10% + Cal 2%	28%

Tabla 61 - Ensayo de Absorción por Capilaridad, cálculo mediante porcentaje de humedad, promedios generales

Material	Resistencia a la compresión kg/cm ²	% de Absorción	Humectacion
Adobe tradicional	5.28	sin ensayo	no
Adobe tradicional estabilización física	6.86	sin ensayo	no
Adobe prensado simple	20.71	19%	si
Adobe prensado, cazcara de arroz 3%	26.63	19%	si
Adobe prensado, cazcara de arroz 6%	23.47	15%	si
Adobe prensado, cazcara de arroz 10%	29.05	28%	no
Adobe prensado, sal 3% + cal 2%	17.42	16%	si
Adobe prensado, sal 6% + cal 2%	11.82	21%	si
Adobe prensado, sal 10% + cal 2%	7.8	28%	si

Tabla 62 - Promedios generales, comparación de propiedades técnicas entre adobe tradicional y adobe prensado

3.7 Acabados para pieza de Adobe

Tradicionalmente por su deficiente resistencia a las inclemencias del tiempo las mamposterías de tierra cruda han necesitado de medios para proteger sus elementos ante dichos efectos. Según mencionan Pesántez & Gonzalez(2011), todos los muros de tierra necesitan de una protección debido a que son susceptibles a sufrir daños por el agua. Para mejorar la resistencia ante factores externos – deterioro y erosión por contacto con el agua en especial – se puede emplear impregnaciones superficiales que dejan la cara vista del material, distintos tipos de revoques y/o revestimientos superficiales o se puede emplear aditivos al momento de realizar el bloque de tierra cruda con el fin de modificar la composición del barro y mejorar su comportamiento, sin embargo, no se considera imprescindible el uso de aditivos para cambiar la composición de la tierra ya que muchas veces es necesaria simplemente pinturas o revoques superficiales que protegen a los muros.

Según Minke (2001), la forma más simple de reforzar el barro contra efectos de la lluvia y el viento es consiguiendo consolidar la superficie del material. Dicha consolidación se puede lograr aplicando un badilejo metálico en la superficie hasta quedar sin poros visibles o fisuras. En el caso de la propuesta de mejoramiento desarrollada mediante el prensado de la pieza se consigue una superficie lisa y consolidada en su mayoría, condicionante que según dicho autor mejoraría la resistencia de la pieza por su menor cantidad de poros. Generalmente la opción de dejar los muros de tierra sin revestir a la intemperie es empleada en sistemas donde se emplea tierra estabilizada (adobe prensado o BTC). (Castilla, 2011)

Impregnaciones Superficiales

Estas impregnaciones se pueden considerar con el fin de consolidar la superficie del material y conseguir una mayor resistencia frente a la erosión. Los materiales empleados suelen ser productos sintéticos o con aspecto transparente. Según Castilla (2001), existen estudios donde se aplican distintos tipos de tratamientos en muros donde los que consiguen mejor comportamiento son las emulsiones en base a resinas acrílicas. Existen también resinas naturales que han sido empleadas tradicionalmente como el aceite de linaza, el sebo o grasa animal.(fig. 27)



fig. 27 Muro visto de Adobe Prensado con impregnaciones superficiales



fig. 28 Muro visto de Adobe Prensado con impregnaciones superficiales



Castilla(2001) señala 3 condiciones que debería cumplir las impregnaciones superficiales que se vaya a emplear en un muro de tierra mismas que se ha creído convenientemente mencionar, estos son:

_Capacidad para mantener la porosidad del soporte y permitir el paso del vapor de agua

_Capacidad de admisión de nuevos tratamientos

_Inalterabilidad del color

Otra forma de realizar impregnaciones superficiales es mediante el empleo de pinturas y lechadas estabilizadas, las cuales se pueden desarrollar mediante la mezcla de la propia tierra con productos estabilizantes, o materiales distintos a la tierra. Las pinturas deben ser necesariamente hidrófobas y porosas para que permitan la difusión del vapor hacia el exterior, por lo que pinturas de látex no son recomendadas (Minke, 2001). (fig. 28)

La lechada o pintura de cal es uno de los recubrimientos más comunes para la protección de muros de adobe, misma que puede ser realizada con 50 kg. de cal hidráulica, disuelta en 60lt de agua (Minke, 2001).

Revocos

Se entiende por revoco a aquellos revestimientos conformados por una pasta o mortero de consistencia plástica, que se puede aplicar de manera continua en un muro manualmente, mediante el uso de una llana o proyectado (Castilla, 2001). Para los revestimientos exteriores de las piezas de barro se debe emplear fibras que produzcan una menor retracción durante el secado.

En nuestro medio la tierra empleada en el proceso de revoque debe ser tamizada previamente y el barro obtenido de la mezcla con el agua debe reposar por lo menos 48 horas antes de su uso. Esta mezcla no siempre es elaborada con paja (Pesántez & González, 2011). (fig. 29)

Existen distintos tipos de revocos con materiales diferentes a la tierra, tal es el caso de revestimientos donde se emplean morteros de cemento, sin embargo

estos no son los más adecuados debido a la diferencia de rigidez con los muros y a su excesiva impermeabilidad, misma que no permite “respirar” al muro. No obstante estas soluciones son ampliamente aceptadas por lo que se debe mencionar que el uso de este tipo de revoques deberían ser admisibles solo cuando exista la seguridad que el muro de tierra se ha secado convenientemente. (Castilla, 2001)

Se ha creído conveniente mencionar que en el caso de la propuesta de mejoramiento desarrollada por el grupo de tesis las impregnaciones superficiales podrían ser el medio adecuado para proteger la superficie de los muros que se encuentren a la intemperie sin ningún tipo de protección. Después de los ensayos realizados se ha valorado la capacidad de absorción de agua de la propuestas desarrolladas siendo en la mayoría de casos baja – debido a la menor cantidad de poros conseguida por el prensado del bloque – lo que inicialmente indicaría que la protección de un alero sería suficiente para un muro de adobe, sin embargo después de lo investigado y por las características climáticas de la región es útil señalar que el uso de dichas impregnaciones deberían ser de uso obligatorio por motivos de seguridad.



fig. 29 Muro visto de Adobe Prensado con impregnaciones superficiales

3.5 Conclusiones

Ensayo de Compresión Simple

- Se ha determinado que los adobes prensados estabilizados con cáscara de arroz en una dosificación del 3% y 6%, que han pasado por un período de secado de 25 y 32 días han obtenido una mejora sustancial en su resistencia a la compresión, esto si comparamos con el ensayo realizado a los 15 días de secado. En el caso de la muestras que contienen 10% de cáscara de arroz, si bien existió una mejora en la resistencia a la compresión a los 32 días de secado, la misma fue insignificante.
- Se ha determinado que todas las piezas de adobe prensado estabilizadas con cloruro de sodio, internamente contenían un alto porcentaje de agua -aún a los 32 días de producción-, debido a que el estabilizante mantiene la humedad de la pieza y dificulta su secado.
- Se ha determinado que ha mayor cantidad de cloruro de sodio mayor es el tiempo de secado necesario de la pieza, debido a esto se ha podido conocer que al agregar mayor cantidad de este compuesto existe una menor resistencia a la compresión de la pieza.
- Finalmente de los ensayos realizados a los 15, 25 y 32 días se concluye que en el caso de los bloques estabilizados con cáscara de arroz un tiempo adecuado de secado se encuentra a los 25 días para el caso de los bloques que contenían un 3 y 6% de estabilizante en la mezcla. A su vez la tendencia evidenciada en los ensayos indica que al agregar mayor cantidad del estabilizante se necesita menor tiempo de secado ya que los bloques que contenían un 10% de cáscara de arroz, a los 15 días de secado alcanzaron una resistencia igual que al ensayar bloques a los 25 días de secado, sin embargo, si existe una mayor cantidad de estabilizante esto podría repercutir en un mayor porcentaje de absorción de agua como se puede observar en la tabla 61.

Ensayo de Absorción

- Después de realizados los ensayos se concluye que las muestras estabilizadas tanto con cáscara de arroz como con cloruro de sodio y cal, no optimizan el comportamiento del barro ante la absorción de agua por capilaridad.
- La normativa UNE-EN 41410:2008 - que se ha tomado como referencia para realizar los ensayos de absorción- no especifica un porcentaje máximo admitido, sin embargo, después de la investigación realizada se puede considerar que los porcentajes de absorción obtenidos por las piezas elaboradas en esta investigación son aceptables, ya que bloques de tierra prensada con patente registrada y calidad comprobada - similares a los realizados en esta investigación (Cannabric, Bioterre)- tienen porcentajes de absorción que oscilan el 30% - 40%.
- En el caso del estudio desarrollado por el resto de normativas especificadas en el apartado 1.7(Norma Colombiana NTC, Francesa ARSO), se ha podido determinar mediante el coeficiente "Cb" que tanto los bloques realizados sin ningún tipo de estabilizante como los realizados con cáscara de arroz y cloruro de sodio se los considera como "bloques poco capilares" ya que su coeficiente "Cb" es menor a 40 y mayor a 20.

Comparación de propiedades técnicas entre Adobe Tradicional y Propuesta de Mejoramiento

- La resistencia a compresión de los adobes prensados supera en alrededor del 500% a los adobes tradicionales. En el caso de los adobes tradicionales no se ha realizado el ensayo de absorción debido a que distintos autores mencionan que el adobe tradicional fracasa antes de terminar dicha prueba. Si comparamos la resistencia a la humedad entre los adobes tradicionales y los propuestos en la investigación existe una mejora significativa en este ámbito debido a



que al realizar el prensado se reduce la cantidad de poros razón por la cual existe menor absorción.

- Se debe hacer una diferenciación entre los adobes tradicionales y los desarrollados en la investigación, ya que si bien los dos son bloques de tierra cruda, la forma de fabricarlos es diferente, tanto en el uso de los materiales como en sus procesos de producción y dimensiones finales. Debido a estas razones se realizó primero una comparación del bloque prensado -desarrollado en esta investigación- con el denominado “bloque tipo” para identificar si existe una mejora real al agregar el estabilizante químico y posteriormente realizar una comparación con los adobes tradicionales e identificar las diferencias en cuanto a propiedades físico-mecánicas se refiere.



CAPITULO 4

**PROPUESTA DE ANTEPROYECTO CON
SISTEMA CONSTRUCTIVO DE ADOBE**



4.1 Elección de bloque de tierra

4.1 Elección de Bloque de Tierra

Realizada la propuesta de mejoramiento de los bloques de adobe prensado o BTC y después de los resultados conseguidos en los ensayos de compresión, absorción y humectación, se ha procedido a elegir el bloque con la dosificación considerada más favorable; en base a esta se realizará una propuesta - en calidad de anteproyecto - de una vivienda unifamiliar que será emplazada en la ciudad de Cuenca.

La propuesta de mejoramiento elegida para realizar el anteproyecto ha sido el adobe prensado estabilizado con cascara de arroz en un porcentaje del 3%. Se realizó esta elección ya que los resultados obtenidos en los ensayos efectuados para conocer las propiedades técnicas de la pieza se consideran favorables. Si bien la resistencia a compresión de esta propuesta no es la más alta obtenida -alcanzó un promedio de resistencia de 26.63kg/cm², la más alta fue la perteneciente a la propuesta estabilizada con cáscara de arroz en una dosificación del 10% y su resistencia promedio fue 29.05 kg/cm² -, sin embargo se ha considerado que la diferencia con la propuesta de mejoramiento que consiguió la mayor resistencia no es significativa y la cantidad de estabilizante empleada en la propuesta elegida (cáscara de arroz 3%) es muy inferior, lo que repercutirá en el precio del bloque. Cabe recalcar que la propuesta elegida a su vez mejora la compresión en un 30% con respecto al bloque tipo sin ningún estabilizante. A su vez el porcentaje de absorción de agua en la propuesta elegida es del 19% a diferencia del adobe prensado que consigue la mayor resistencia a compresión que tiene un porcentaje de absorción del 28%.

Por las mencionadas razones se ha elegido la propuesta de adobe prensado con un 3% de cáscara de arroz, ya que la misma aumenta la resistencia a compresión de la pieza y consigue una resistencia ante la humedad aceptable.

Las medidas del bloque estabilizado con 3% de cáscara de arroz serán de 30 x 14 x 12 cm, ya que después del estudio realizado en la sección 1.7 se concluyó que estas medidas permiten trabas óptimas entre los bloques y cumplen con especificaciones de distintas normativas de construcción en tierra investigadas (UNE-EN: 41410, E.08).



Fig. 1 - Tierra del sector de Baños



Fig. 2 - Bloque de Adobe Prensado Estabilizado con Cascara de arroz.



4.2 Diseño de Anteproyecto con Criterios de Sismo-Resistencia

4.2.1 Diseño de Anteproyecto

El anteproyecto será emplazado en la parroquia de Baños de la provincia del Azuay, en el sector de Misicata, esto debido a que la propuesta de mejoramiento de los bloques de adobe se realiza con tierra de esta zona, después de un estudio de suelos. (Fig. 3)

Como ya se mencionó en la sección 1.6 las edificaciones de adobe tienen un rendimiento deficiente ante los sismos, razón por la cual se ha creído conveniente desarrollar la vivienda desde un inicio con criterios de sismo-resistencia con el fin de servir de guía y aportar al desarrollo de viviendas de adobe con correctos criterios constructivos.

Este proyecto será desarrollado para un grupo familiar de nivel socio económico medio, con lo que se pretende revalorizar el uso del sistema constructivo en adobe ya que el imaginario social lo define como material para el desarrollo de viviendas de clases bajas o para “vivienda social” únicamente, mostrando de esta manera un proyecto de calidad.



Fig. 4 - Panorámica del terreno

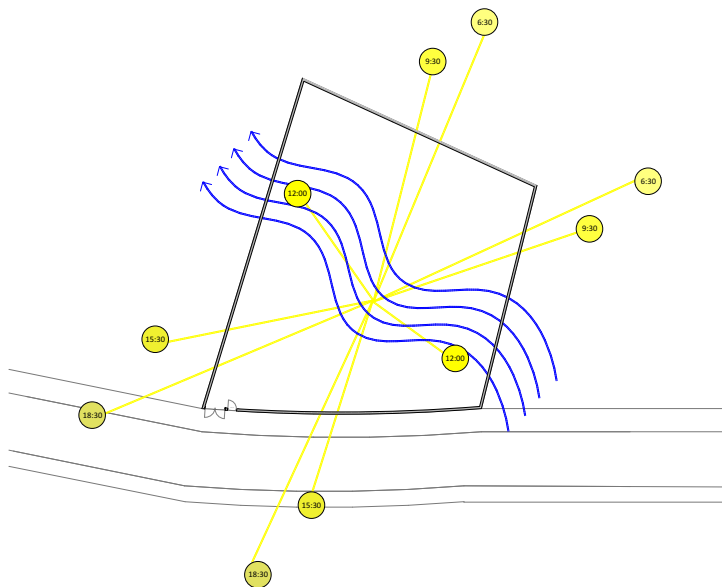


Fig. 5 Asoleamiento y dirección de vientos



4.2.2 Criterios de Sismo-Resistencia

Este anteproyecto pretende servir de guía para la construcción de una vivienda de adobe que contenga criterios básicos de sismo-resistencia, los mismos que fueron investigados y desarrollados en la sección 1.6. A continuación se describen los criterios elegidos para la realización de este anteproyecto.

Con el fin de tener una vivienda con una mayor resistencia ante los sismo se ha elegido los criterios considerados como más relevantes. Como ya habíamos mencionado se debe trabajar la resistencia ante los esfuerzos horizontales y la ductilidad de la edificación (capacidad de deformación). (Minke, 2001)

Se ha elegido una relación media entre ductilidad y resistencia, razón por la cual se realiza muros con un ancho de 30cm con una estructura interna de caña de la sierra para optimizar la resistencia ante los esfuerzos horizontales y a su vez conseguir una mayor ductilidad.

Forma de la vivienda compacta, evitando ángulos

La vivienda se dividió en 2 bloques compactos de forma rectangular conectados en su parte central por una estructura ligera recubierta de vidrio que conformará el vestíbulo de ingreso de la vivienda. Se ha tomado esta decisión con el fin de tener plantas estables y así eliminar la existencia de ángulos. (Fig. 6)

Viga collar para arriostre de muros

La viga collar sirve de arriostre de los muros y a su vez esta conforma el dintel de las puertas y ventanas de la vivienda. Este elemento estructural es de madera y su fin es formar una estructura tipo caja que sea continuo alrededor del muro para conseguir un buen comportamiento ante los sismos. Según Blondet et al. (2004), este es uno de los elementos principales para conseguir una construcción de adobe resistente ante los sismos.

Disposición de los vanos y ancho según la norma

Siguiendo la normativa Peruana E.080 ninguna ventana o puerta supera el 1.20m y a su vez todos cumplen con el espacio mínimo entre vanos y

longitudes máximas de muros. Adicional a esto el antepecho bajo las ventanas no se realiza con mampostería de adobe sino se emplea una estructura liviana de madera o en su defecto no existe un antepecho y el cristal de la ventana llega hasta el piso. Se realiza esto para que tanto el vano de la ventana así como el de los muros cumplan la misma función, es decir, separar los muros. (Minke, 2001). (fig. 8)

Modulación de los espacios en base a la pieza de adobe prensado

Se ha realizado un modulo en base a la pieza de adobe prensado ya que con esto se pretende conseguir una traba óptima entre los bloques como especifica la normativa E.080 para encuentros en esquinas, en forma de T y X (fig. 12 a la 15). La vivienda se realiza con una mampostería de 30 cm de espesor, es decir, 2 bloques de 14 cm de ancho que más el espesor de la junta proporcionan la medida especificada. (Fig. 7)

Este módulo se replica en toda la vivienda o se trabaja con submodulos del mismo con el fin de garantizar que en toda la vivienda exista una traba óptima de los adobes y así evitar una falla por esfuerzo de corte.

Refuerzos verticales y horizontales

El empleo de una estructura de refuerzo interno continuo en sentido horizontal y vertical en toda la longitud de los muros de adobe pretende mejorar la resistencia de los mismos a los efectos de tracción. Esta estructura será desarrollada con un material dúctil (caña de la sierra comúnmente conocida como carrizo). Este refuerzo se tiene que fijar a la cimentación y a la viga collar. La unión entre las cañas tanto en el sentido vertical y horizontal así como a la viga collar, se realiza con hilo de nylon, ya que esta unión genera una estabilidad que hace una estructura más fuerte que sus componentes individuales. La función de este refuerzo radica en la posibilidad de transmitir tanto la flexión de los muros transversales a los muros coplanares que resisten el cortante. A su vez genera una mayor resistencia a la tracción de los muros. (Blondet et al., 2003)

Coeficiente de esbeltez ≤ 8

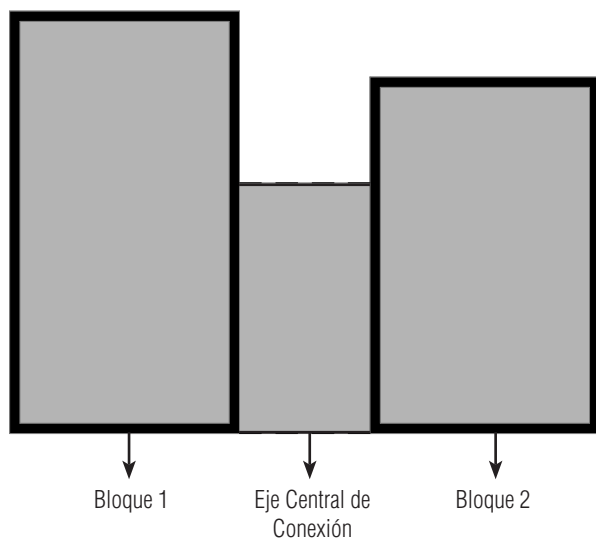
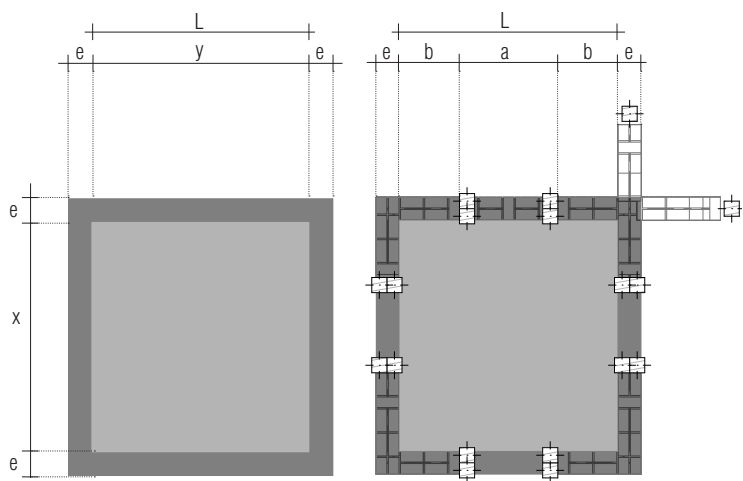


Fig. 6 - Esquema de Disposición de bloques de la vivienda compacta

La edificación tendrá muros de un espesor de 0.30m y una altura de 2.40m, como ya se especificó la esbeltez es la relación del alto del muro sobre el espesor(h/e) lo que en este caso nos daría un coeficiente de 8. Según la normativa peruana E.080 al tener un coeficiente de esbeltez ≤ 8 se deberá colocar elementos de refuerzo horizontal y vertical en los encuentros de los muros. En el caso del anteproyecto desarrollado se colocarán refuerzos horizontales y verticales en toda la longitud del muro.

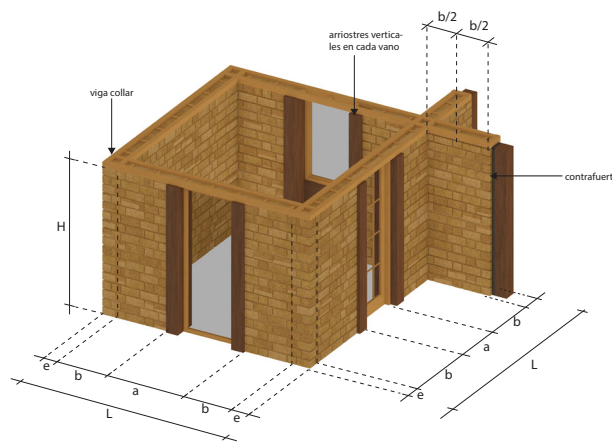
Estructura de cubierta exenta.

La estructura de cubierta de la edificación no se asentará sobre los muros de adobe prensado, esto con el fin de formar 2 estructuras (la primera de muros y la segunda de cubierta) que al momento de existir un sismo trabajen de manera independiente.



Donde; $e = 2$ veces el ancho del bloque + espesor de la junta (30cm)
 $x = 3.06$ m ; $y = 2.90$ m

Fig. 7 - Dimensionamiento del modulo



Donde; $a \leq L/3$; $3e \leq b \leq 5e$; $L \leq 10e$; $H \leq 8e$;
 $H_{max} = 10$; $\lambda_{Vmax} = 8$; $\lambda_H + 1.25\lambda_V \leq 17.5$

Fig. 8 - Esquema de Dimensionamiento para vanos, distancia de arriostres verticales, Límites de Altura en función del espesor del muro.

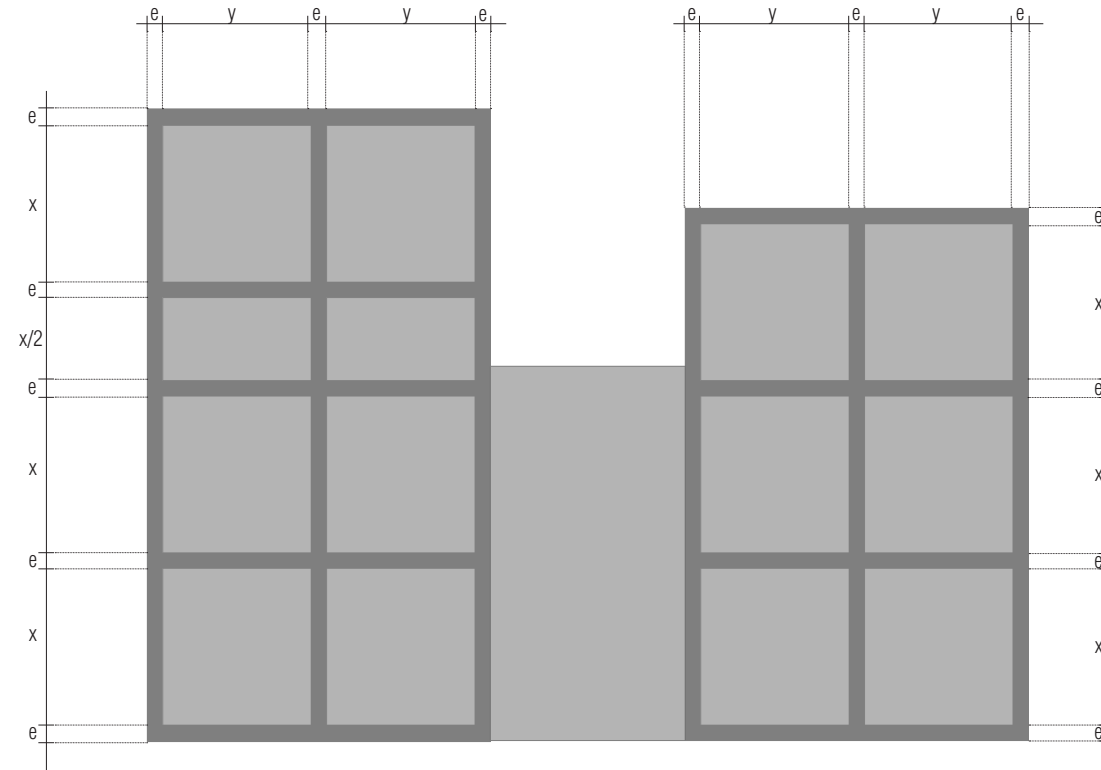
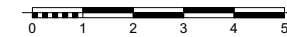


Fig. 9 - Esquema de Modulaci3n de Vivienda



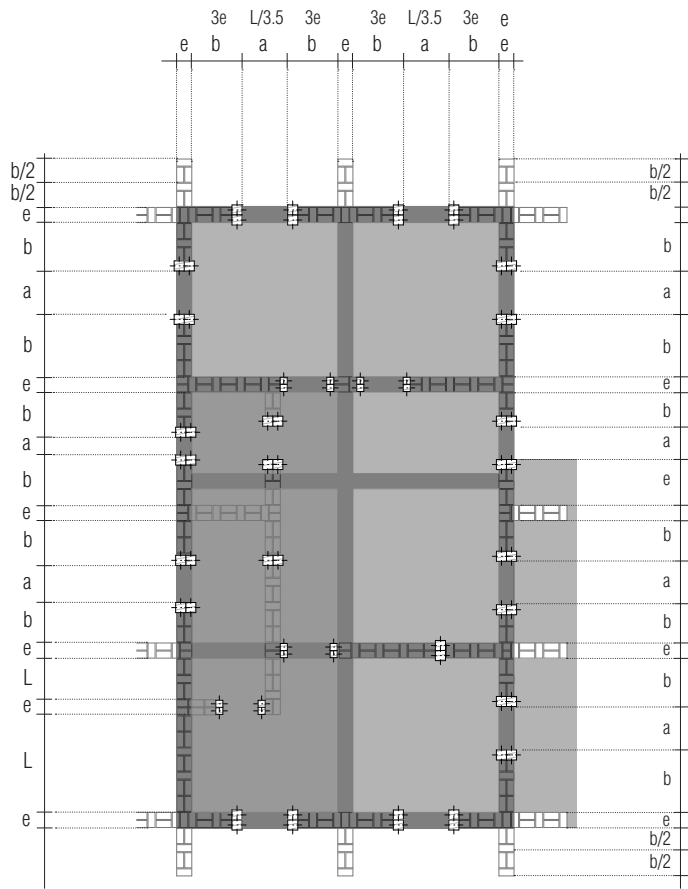


Fig. 10 - Esquema de Modulación Y Cumplimiento de la Norma Bloque

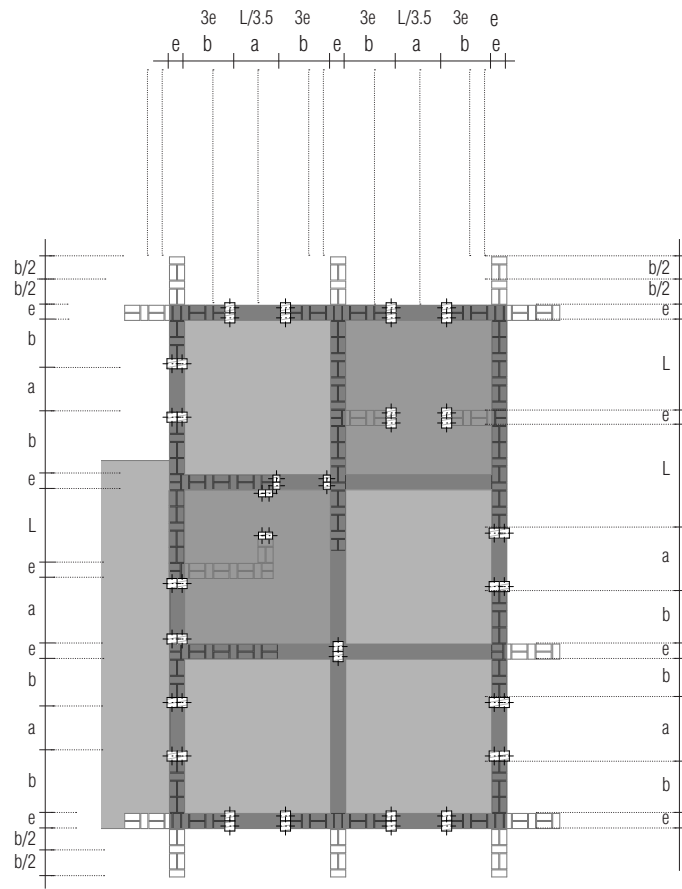
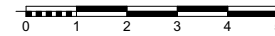


Fig. 11 - Esquema de Modulación Y Cumplimiento de la Norma Bloque



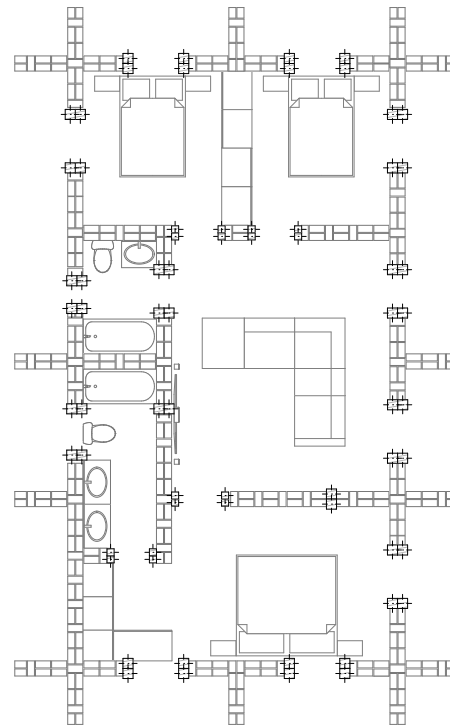


Fig. 12 PRIMERA HILADA zona descanso
1:150

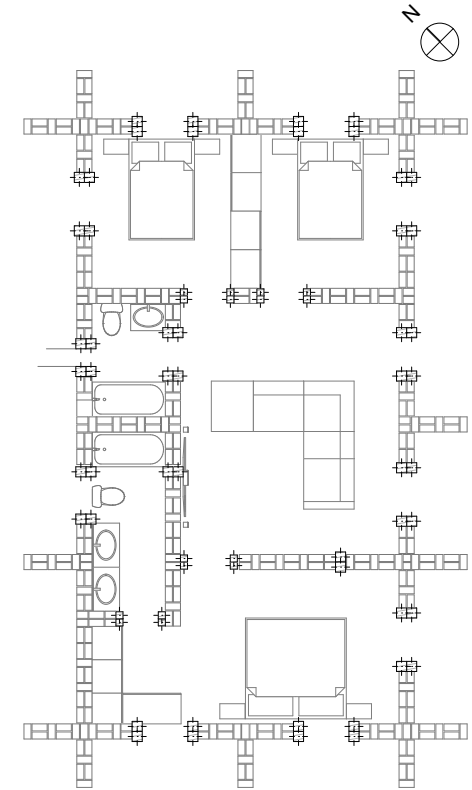


Fig. 13 SEGUNDA HILADA zona descanso
1:150



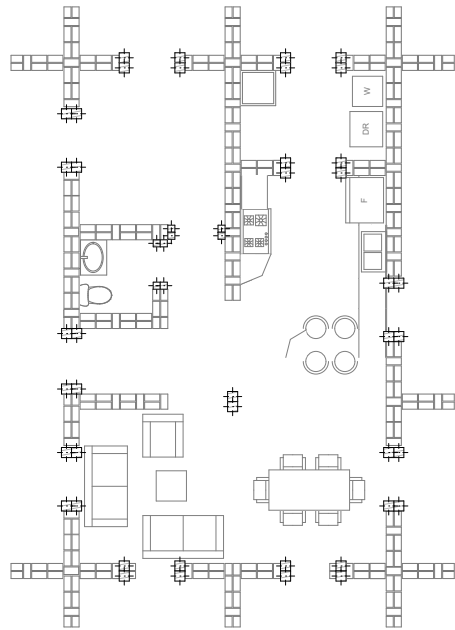


Fig. 14 PRIMERA HILADA zona social
1:150

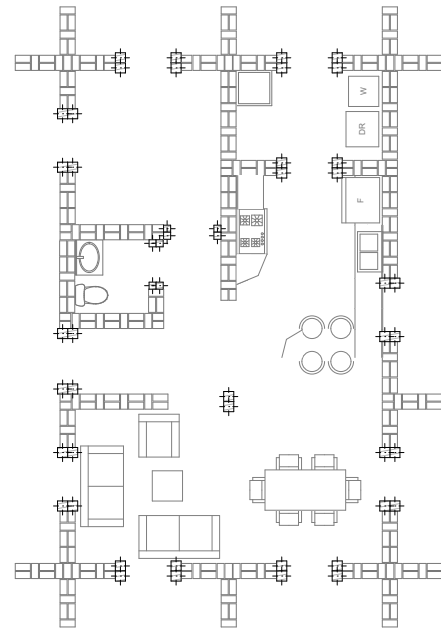
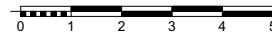
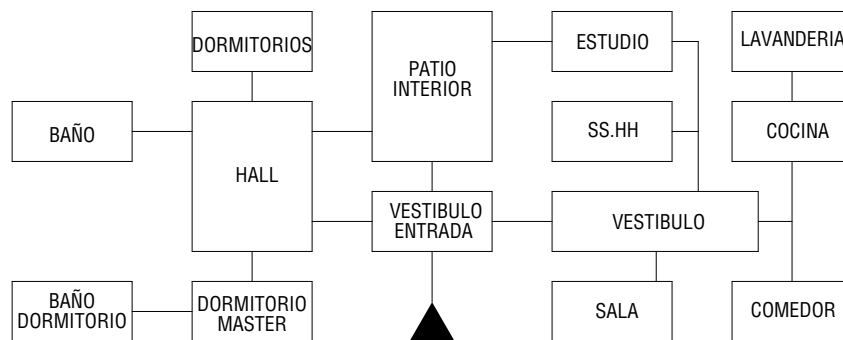


Fig. 15 SEGUNDA HILADA zona social
1:150





4.3 Anteproyecto de Vivienda Unifamiliar



Diag. 1. Organigrama de Espacios, Vivienda de Clase Media con Adobe Prensado

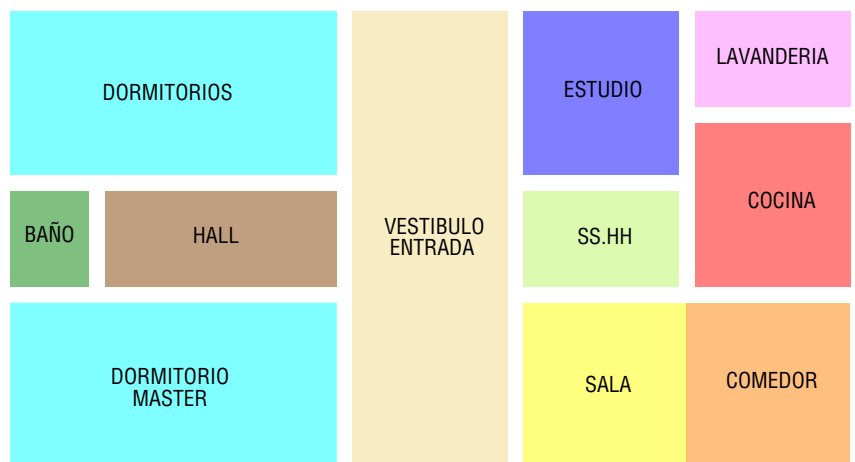


Tabla 1. Cuadros de áreas, Vivienda de Clase Media con Adobe Prensado

SERVICIO	m ²
COCINA	8.86
LAVANDERIA	5.17
ESTUDIO	8.87
SS.HH	2.14
TOTAL	25.04

SOCIAL	m ²
VESTIBULO ENTRADA	10.01
SALA	9.32
COMEDOR	9.32
PATIO INTERIOR	15.20
TOTAL	43.85

DESCANSO	m ²
DORMITORIO MASTER	17.01
BAÑO DORMITORIO	5.22
DORMITORIO	18.67
BAÑO	3.30
HALL	21.57
TOTAL	65.77

ZONA	m ²
DESCANSO	65.77
SOCIAL	43.85
SERVICIO	25.04
TOTAL	194.73

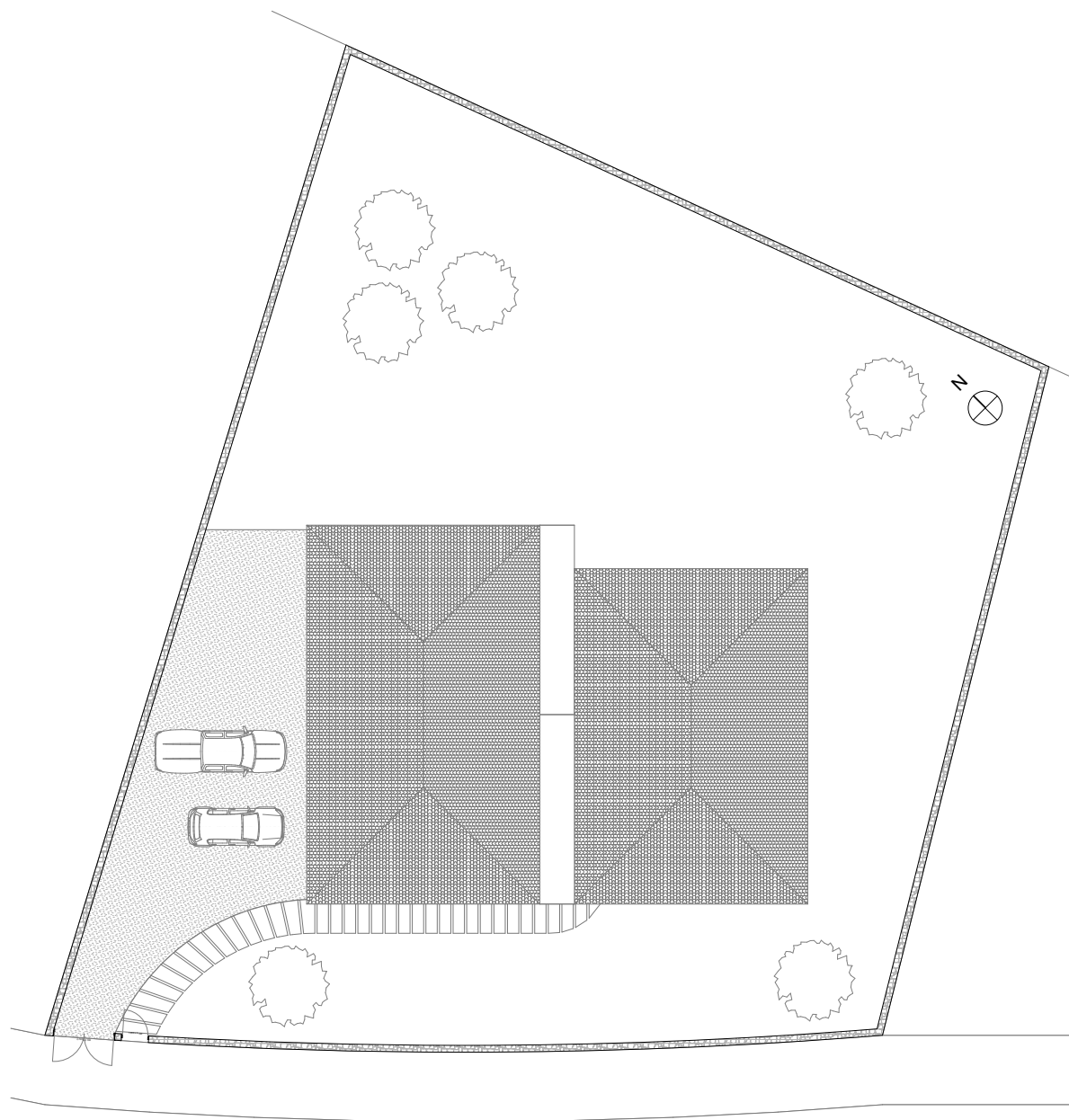
Tabla 2. Cuadro de Areas

“La validez de un proyecto arquitectónico se da en buen parte gracias a la habilidad con que el arquitecto maneje estos niveles e interrelaciones de los objetos y los espacios”(fonseca, 2002). Es importante tomar en cuenta la medida de los objetos con los espacios que van a ocupar, así como la relación entre objetos, habitantes y espacio. Cumpliendo con estas pautas se podrá dar soluciones arquitectónicas apropiadas. (fonseca, 2002)

Se debe tener claro que no todos los proyectos son iguales, es decir, limitarse a que exista soluciones únicas es erróneo, por lo que se debe pensar que estos

criterios espaciales son muy abiertos, siempre y cuando, creen un lugar de confort a quien lo habite.

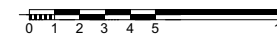
En el caso concreto de este anteproyecto además de utilizar las relaciones y criterios mencionados, para dimensionar las áreas, se tomó en cuenta la dimensión del material base(adobe prensado), obteniendo de esta manera módulos funcionales y coherentes, de igual manera se cumple con los requisitos de áreas mínimas para los distintos espacios de una vivienda.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PAREDES:	ADOBE
CUBIERTA:	TEJA CERÁMICA ARTESANAL
ENTREPISO:	MADERA
PISOS:	MADERA Y CERAMICA
CIELO RASO:	MADERA YESO CARTON
REVOQUES:	CERAMICA
PUERTAS Y VENTANAS:	MADERA Y VIDRIO

Tabla 3. Especificaciones técnicas

Fig. 16 EMPLAZAMIENTO
1:300



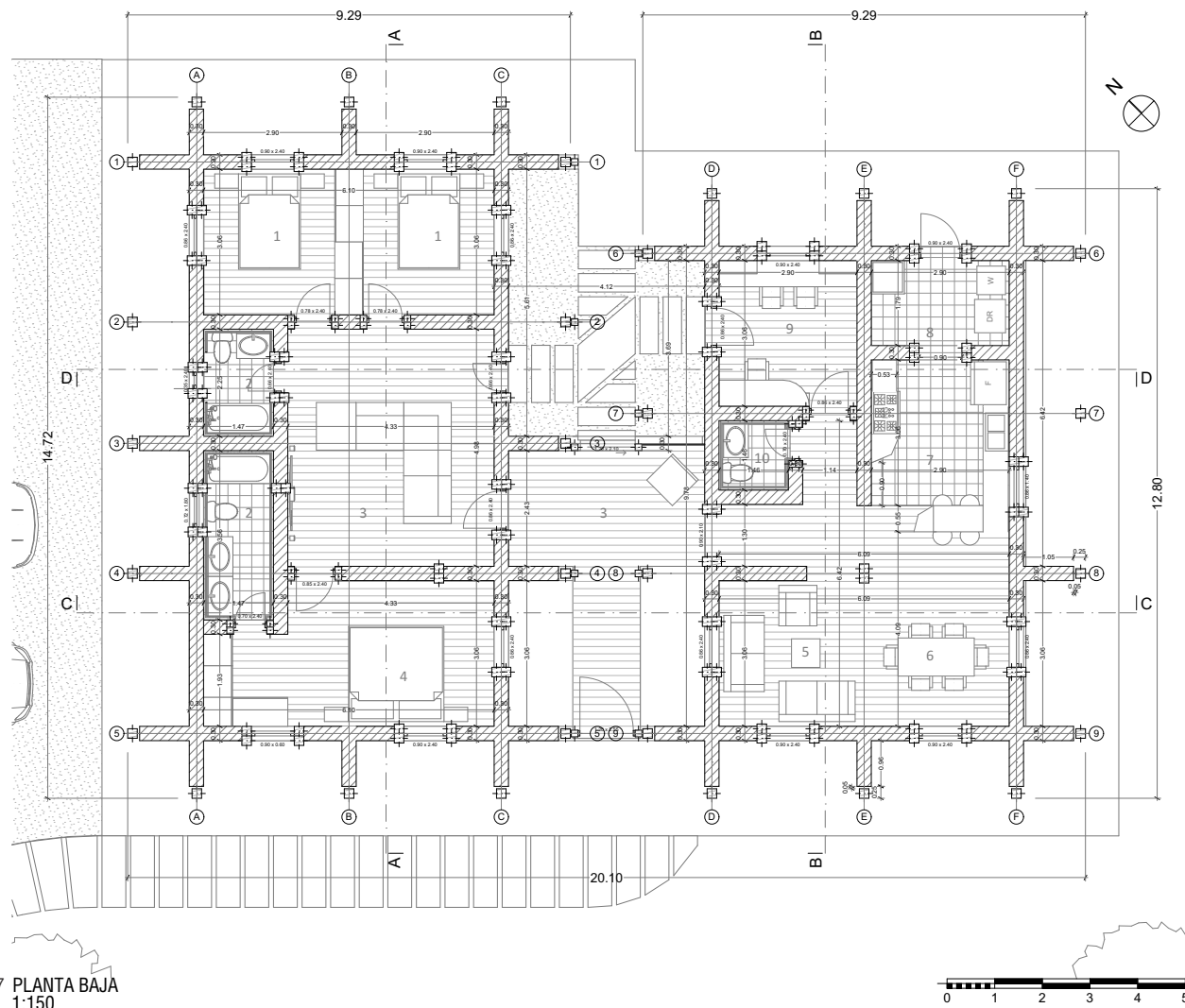


Fig. 17 PLANTA BAJA
1:150

- 1. DORMITORIO
- 2. BAÑO
- 3. HALL
- 4. DORMITORIO MASTER
- 5. SALA
- 6. COMEDOR
- 7. COCINA
- 8. LAVANDERIA
- 9. ESTUDIO
- 10. SS.HH

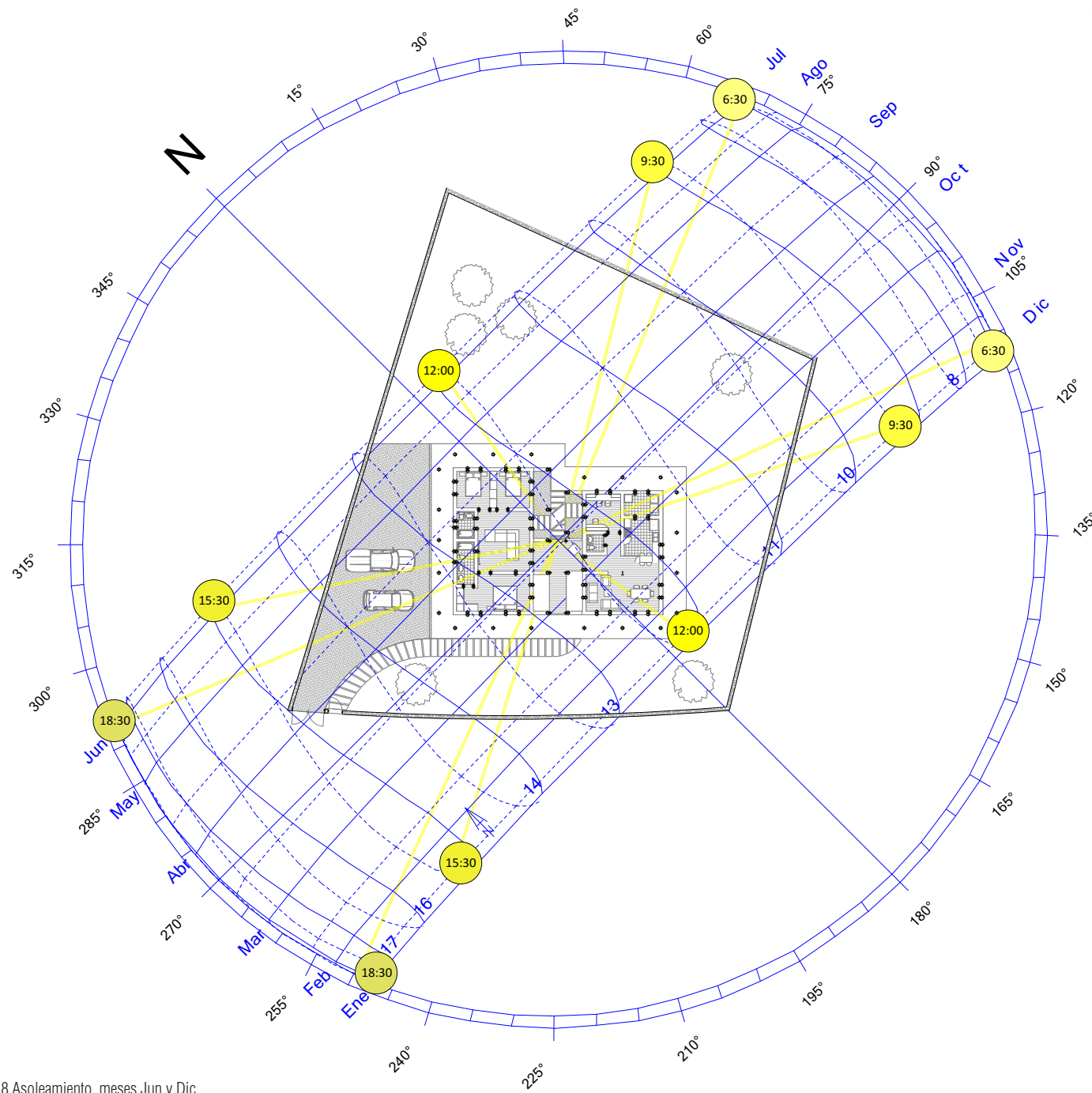


Fig. 18 Asoleamiento, meses Jun y Dic
1:500

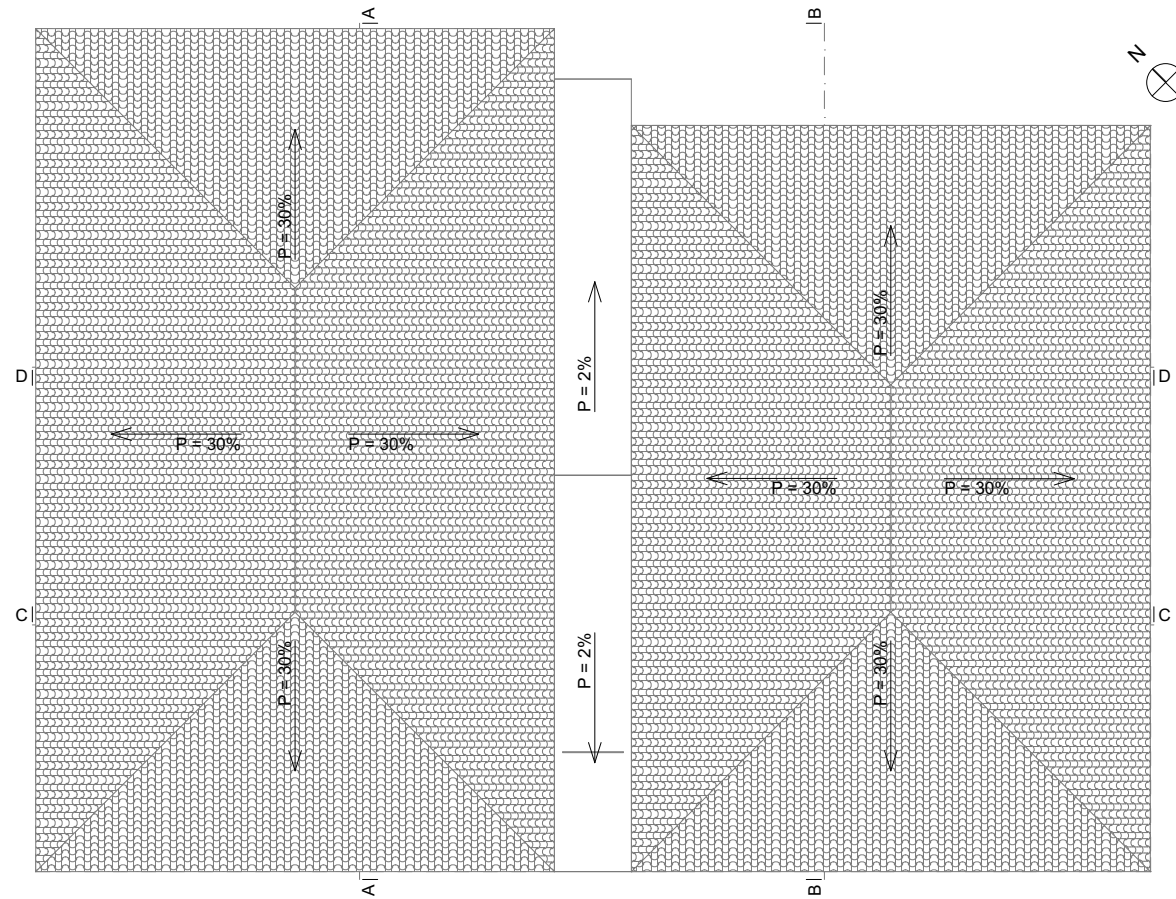


Fig. 19 PLANTA DE CUBIERTAS
1:150



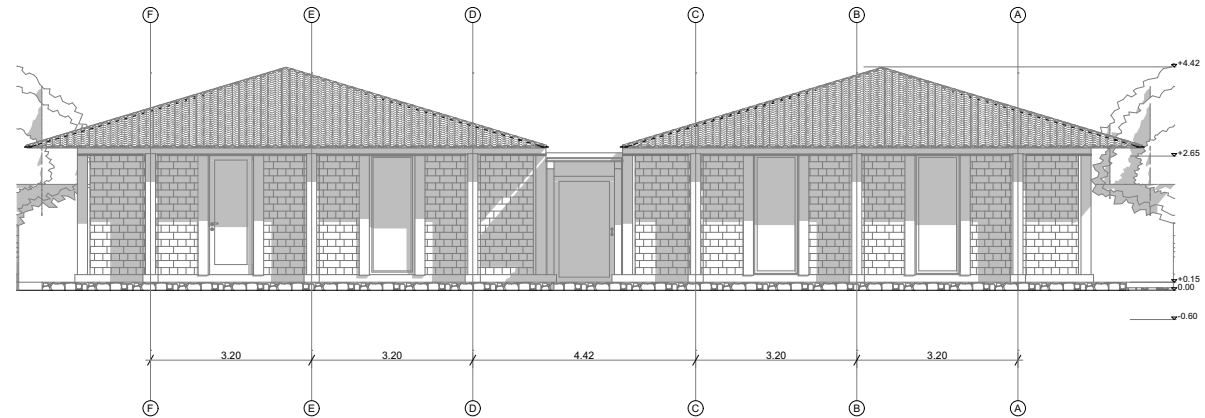


Fig. 20 FACHADA ESTE
1:150

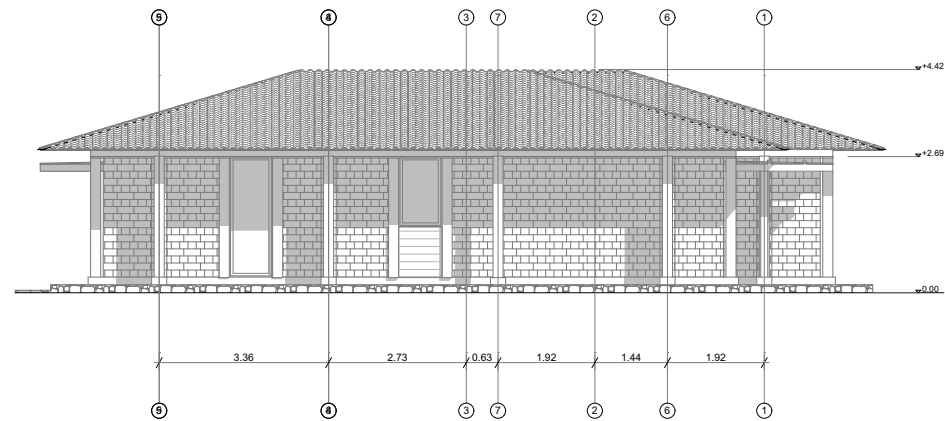
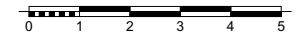
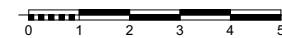


Fig. 21 FACHADA SUR
1:150



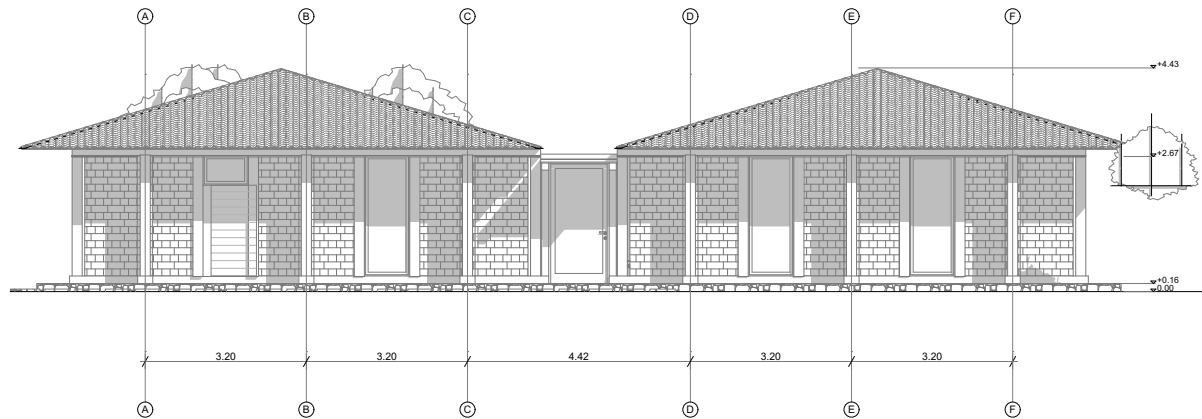


Fig. 22 FACHADA ESTE
1:150

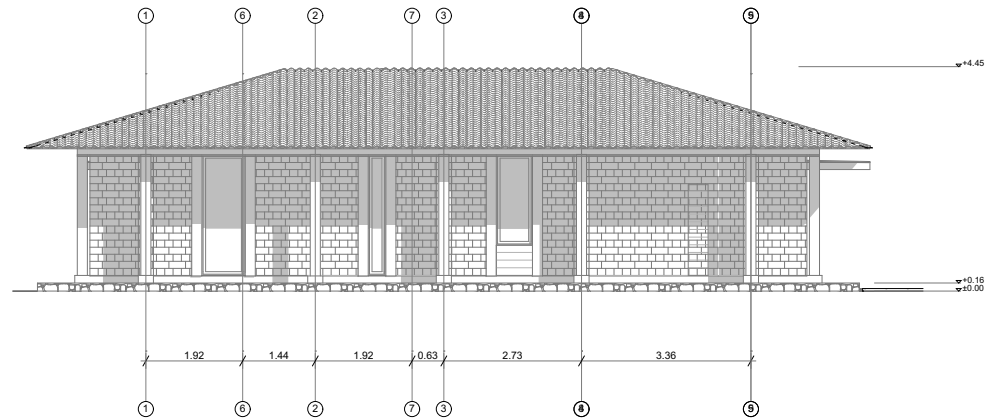


Fig. 23 FACHADA NORTE
1:150

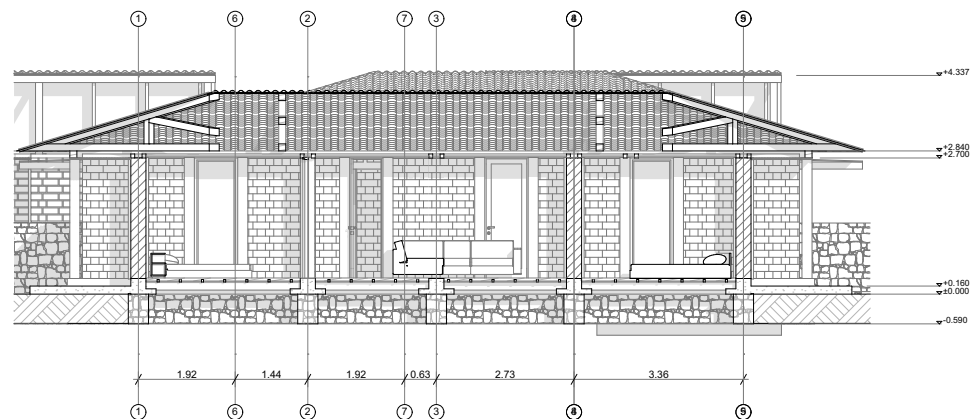


Fig. 24 CORTE A-A
1:150

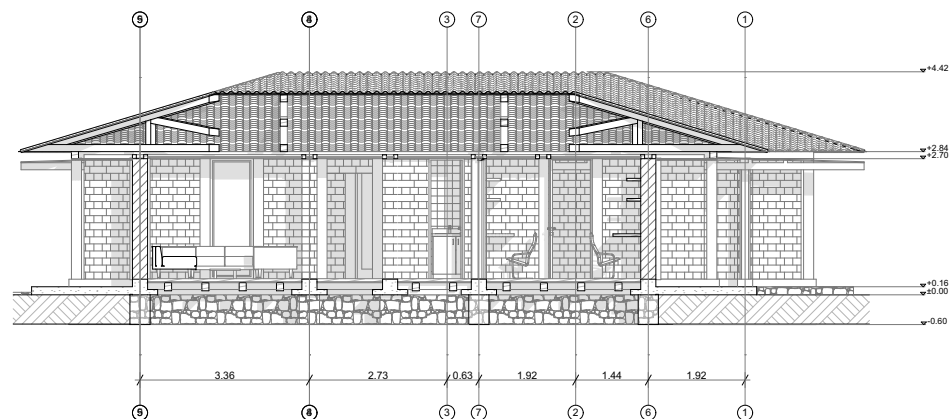
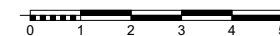
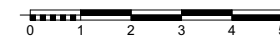


Fig. 25 CORTE B-B
1:150



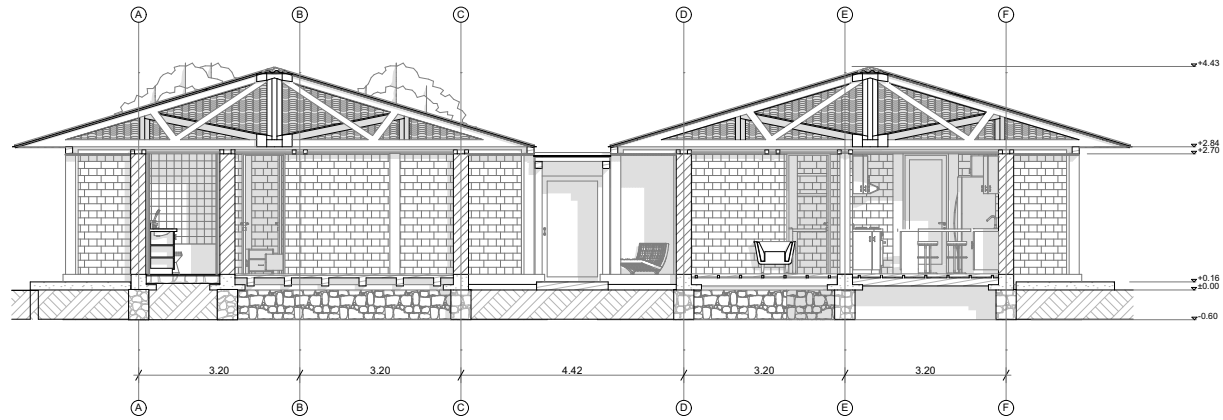


Fig. 26 CORTE C-C
1:150

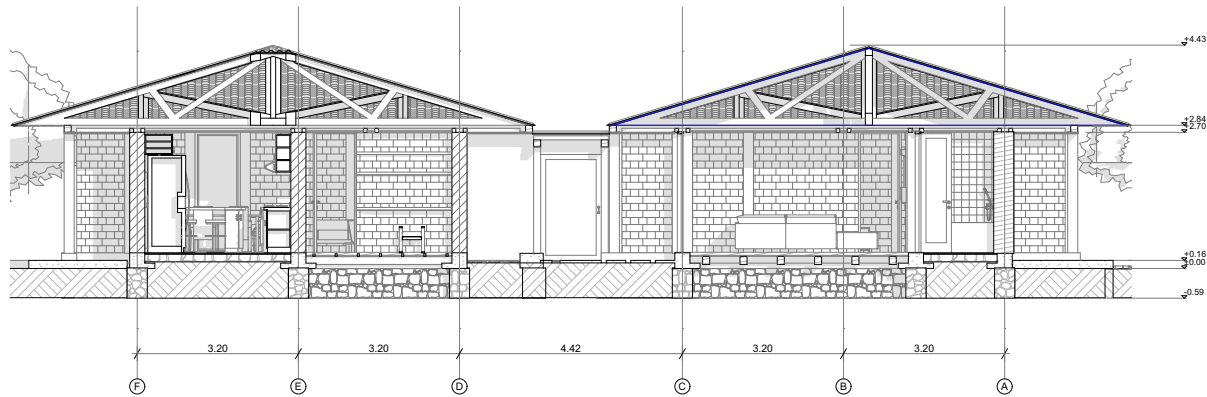
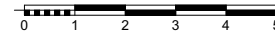
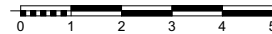


Fig. 27 CORTE D-D
1:150



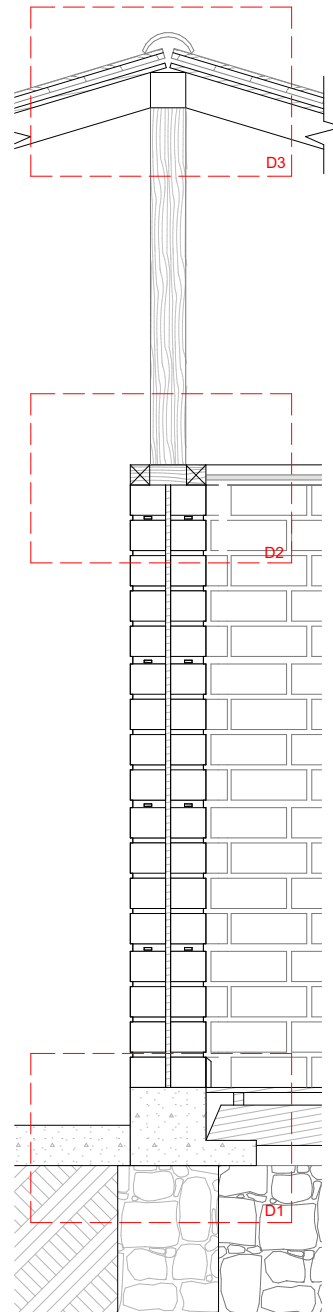


Fig. 28 Sección 1-1
1:30

1. Cimiento, Hormigón Ciclópeo $f'c=240\text{kg/cm}^2$ 50%, Piedra de río $e=60\text{cm}$ 50%
2. Suelo compactado
3. Cuña o clave, piedra puntona
4. Replantillo de Piedra $e=10\text{cm}$
5. Vereda 5cm, Hormigón simple $f'c=180\text{kg/cm}^2$ 50%, Piedra de río $e=7\text{cm}$ 50%, con impermeabilizante de resina acuosa de impregnación
7. Viga de pino, 20 x 20 cm
8. Refuerzo vertical, caña de la sierra, 101cm, cada 45cm, ver
9. Tira pino, 4 x 5 cm
10. Duela eucalipto, 6 x 30 x 1,5 cm
11. Rastrera de madera
12. Bloque de adobe prensado, 30 x 15 x 12 cm
13. Refuerzo horizontal, caña de la sierra, 201cm, cada 4 hiladas
14. Cieloraso, Tablero de yeso cartón de $e=1$ cm
15. Viga collar de pino, tipo escalera 8 x 7 cm, ver
16. Pie derecho, madera pino, 14 x 16 cm, unión media madera
17. Par de pino, 14 x 16 cm
18. Cumbre pino, 20 x 20 cm
19. Tablero contrachapado, $e=1\text{cm}$
20. Teja artesanal

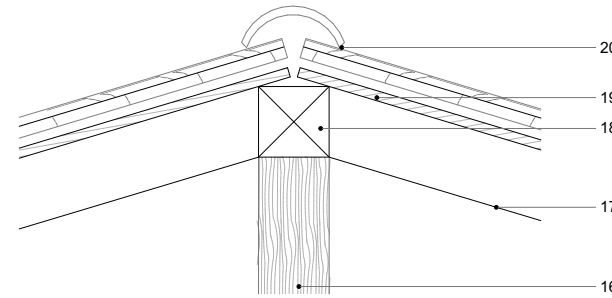


Fig. 29 D3 Composición cubierta
1:15

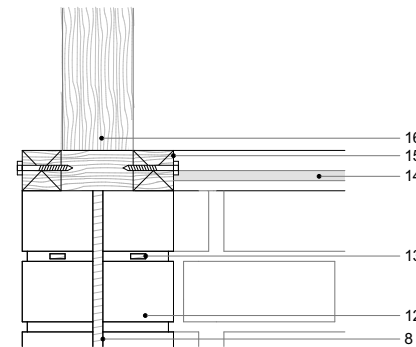


Fig. 30 D2 Composición parte superior muro de adobe
1:15

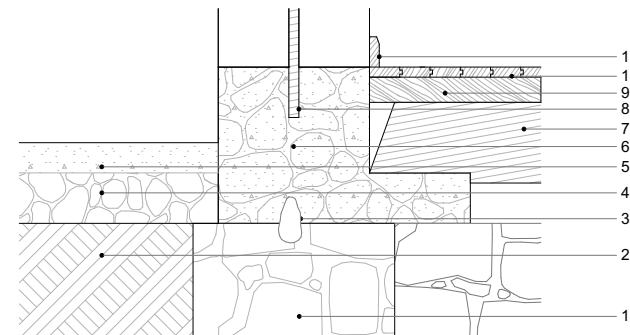


Fig. 30 D1 Composición: Cimentación - piso madera - muro adobe
1:15



Fig. 31 3D SECCION 1-1

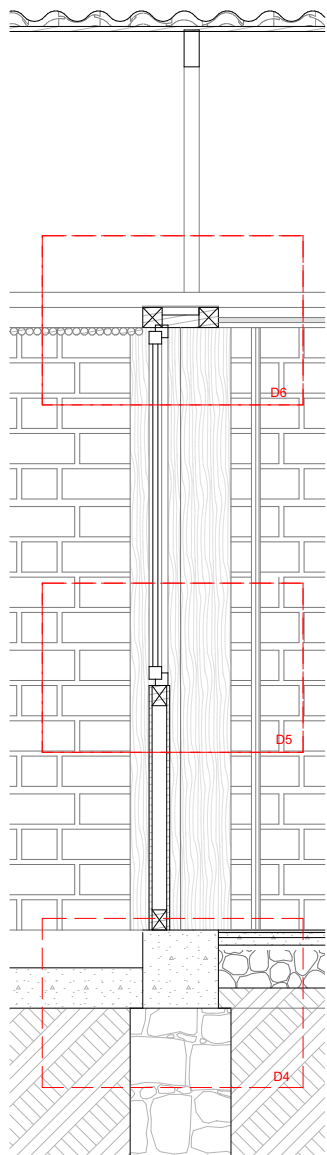


Fig. 32 Sección 2-2
1:30

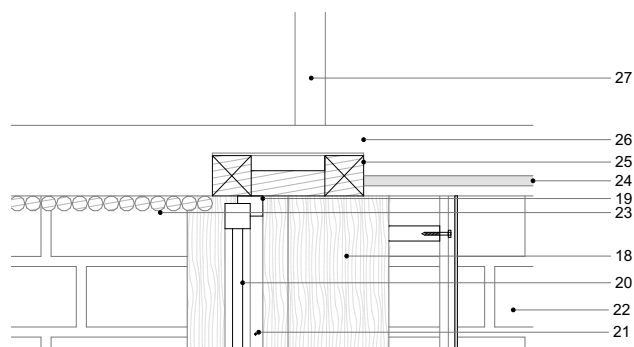


Fig. 33 D6 Composición cielo raso - muro
1:15

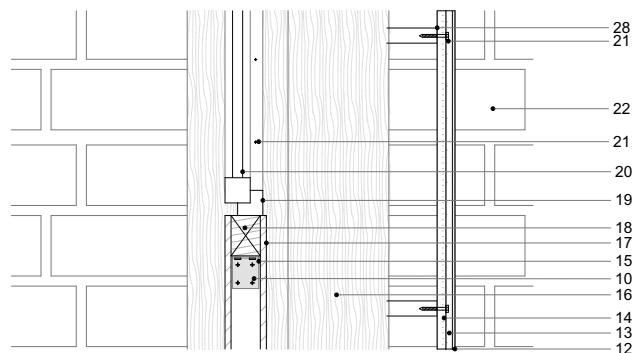


Fig. 34 D5 Detalle constructivo antepecho, muro abobe con recubrimiento
1:15

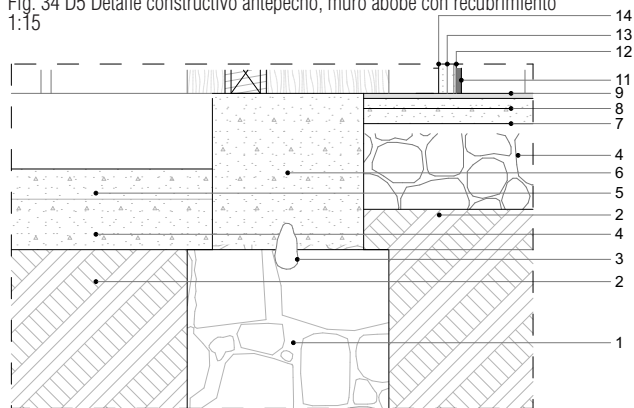


Fig. 35 D4 Composición: Cimentación - piso cerámico
1:15

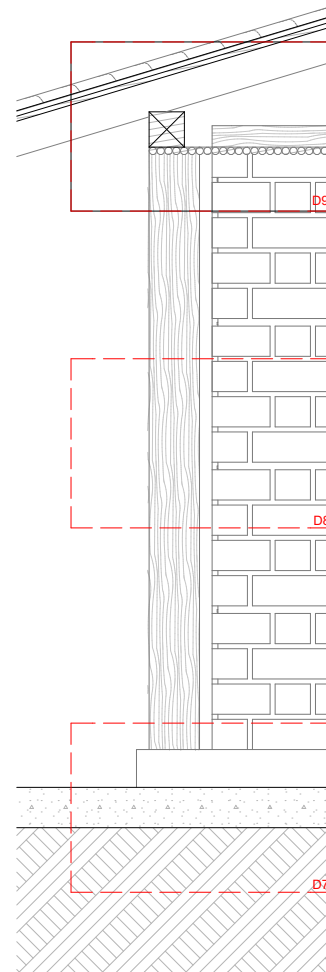


Fig. 36 3D SECCION 2-2

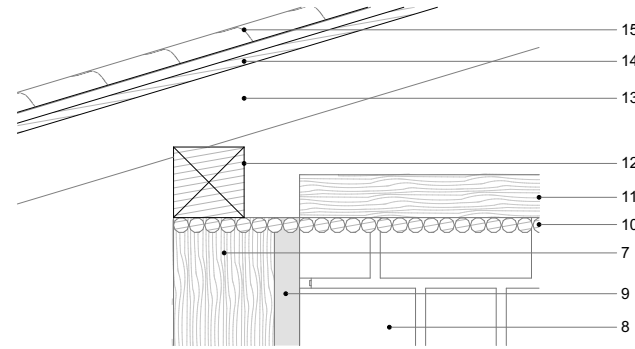
1. Cimiento, Hormigón Ciclópeo $f'c=240\text{kg/cm}^2$ 50%, Piedra de río $e=1\text{cm}$ 50%
2. Suelo compactado
3. Cuña o clave, piedra puntonea
4. Replanteo de piedra de río $e=10\text{cm}$
5. Vereda 5cm, Hormigón simple $f'c=180\text{kg/cm}^2$
6. Sobrecimiento, Hormigón Ciclópeo $f'c=180\text{kg/cm}^2$ 50%, Piedra de río $e=7\text{cm}$ 50%, con impermeabilizante de resina acuosa de impregnación
7. Hormigón simple $f'c=180\text{kg/cm}^2$, $e=5\text{cm}$
8. Mortero cemento, 1:2
9. Pieza cerámica 30 x 30 cm
10. Tornillo, \emptyset 3.5 x 50 mm
11. Rastrera cerámica, 5 x 1 cm
12. Cerámica 30 x 30 cm
13. Mortero cemento, 1:2
14. Tablero yeso cartón de $e=3\text{cm}$, con cerámica.
15. Conector metálico tipo ángulo, $e=3\text{mm}$
16. Arriostre vertical, columna pino 20 x 20 cm
17. Entablado, Tabla de pino, 800 x 150 x 12 mm
18. Estructura entablado, tira pino 7 x 8 cm
19. Carpintería, madera pino, 7 x 5 cm
20. Vidrio flotado, $e=4\text{mm}$
21. Tornillo, \emptyset 3.5 x 50 mm
22. Bloque de adobe prensado, 30 x 15 x 12 cm
23. Cieloraso exterior, encarrizado, caña de la sierra \emptyset 1cm
24. Cieloraso, Tablero de yeso cartón de $e=1\text{cm}$
25. Viga collar de pino, tipo escalera 8 x 7 cm
26. Viga pino, 14 x 16 cm
27. Par de pino, 14 x 4 cm
28. Estaca de madera



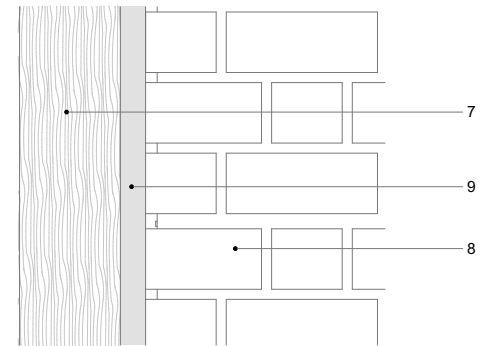
1. Suelo compactado
2. Replanteo de piedra de río e=10cm
3. Vereda 5cm, Hormigón simple f c=180kg/cm²
4. Sobrecimiento, Hormigón Ciclópeo f c=240kg/cm² 50%, Piedra de río e=7cm 50%, con impermeabilizante de resina acuosa de impregnación
5. Placa metálica e=6mm, 20 x 20 cm
6. Asfalto
7. Columna de pino, 20 x 20 cm
8. Bloque de adobe prensado, 30 x 15 x 12 cm
9. Material elástico, sello de neopreno de compresión
10. Cieloraso exterior, encarrizado, caña de la sierra Ø1cm
11. Viga collar de pino, tipo escalera 8 x 7 cm
12. Viga de pino, 14 x 16 cm
13. Par de pino, 14 x 16 cm
14. Tablero contrachapado, e=1cm
15. Teja artesanal



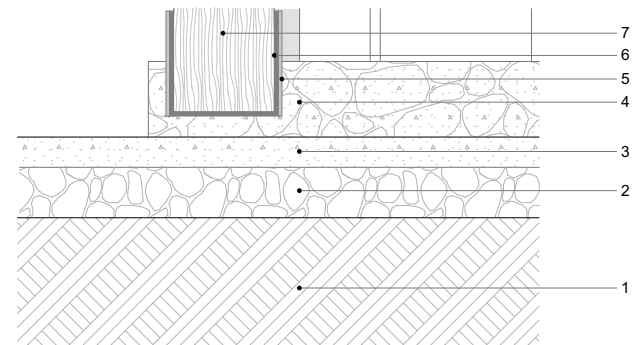
SECCION Fig. 37 Sección 1-1
1:30



D9 Fig. 40 D9 Composición exterior, aleros - Cubierta
1:15



D8 Fig. 39 D8 Composición muro adobe - columna exenta
1:15



D7 Fig. 38 D7 Detalle unión columna madera - sobrecimiento
1:30



3D SECCION 3-3

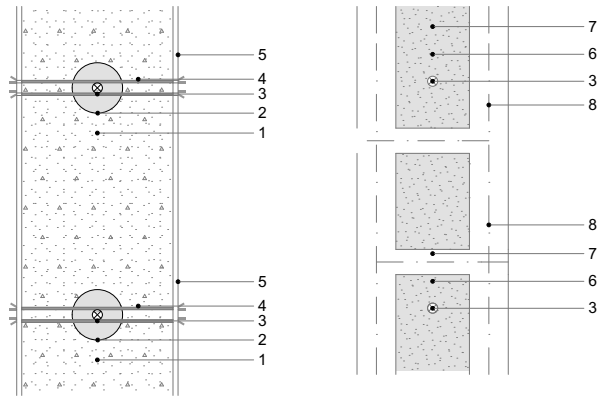


Fig. 42 UNIÓN CON SOBRECIMIENTO
1:15

Fig. 43 UNIÓN CON VIGA COLLAR
1:15

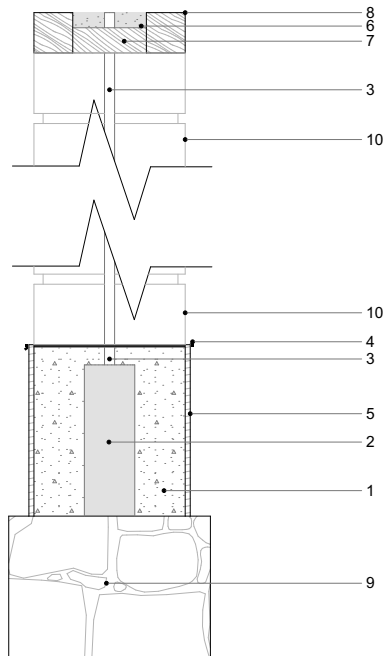


Fig. 44 UNIONES REFUERZO VERTICAL
1:15

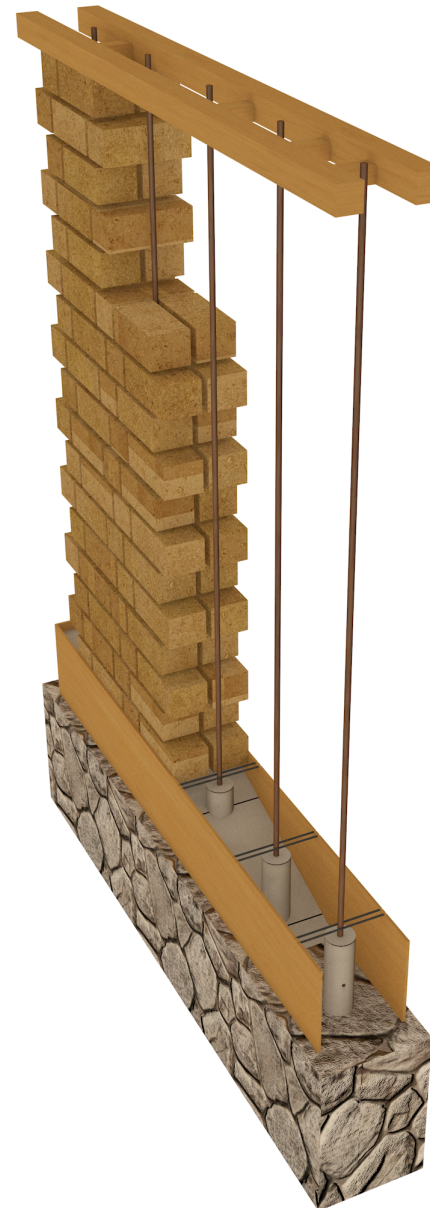


Fig. 45 3D UNIONES REFUERZO VERTICAL

1. Sobrecimiento, Hormigón Ciclópeo 240kg/cm² 50%, Piedra de río 7cm 50%, con impermeabilizante de resina acuosa de impregnación
2. Base del refuerzo vertical tipo Cilindro Ø10 x 20 cm, Mortero cemento, 1:2
3. Refuerzo vertical, caña de la sierra, 1Ø1cm, cada 45cm4. Alambre rígido para amarre
5. tabla para encofrado, eucalipto 1 x 15 x 2.8 cm
6. Mortero de barro
7. Viga collar, refuerzo corto, 4 x 5 cm
8. Viga collar, refuerzo largo, 7 x 8 cm
9. Cimiento, Hormigón Ciclópeo 180kg/cm² 50%, Piedra de río 15cm 50%
10. Bloque de adobe prensado, 30 x 15 x 12 cm

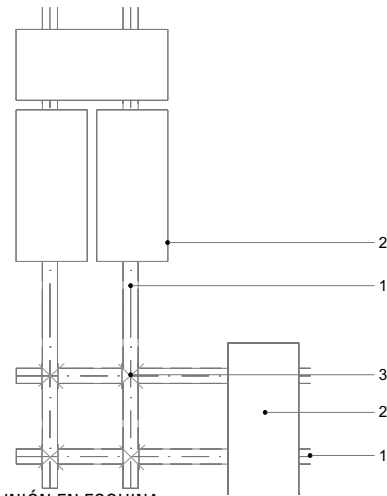


Fig. 46 UNIÓN EN ESQUINA
1:15

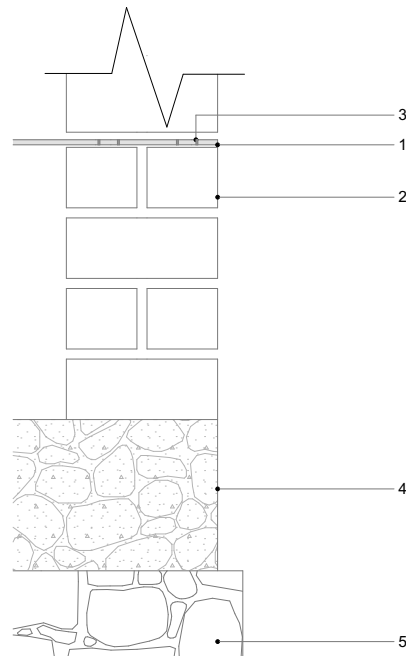


Fig. 47 REFUERZO HORIZONTAL
1:15

1. Refuerzo horizontal, caña de la sierra, 201cm, cada 4 hiladas, mortero de barro 3 cm
2. Bloque de adobe prensado, 30 x 15 x 12 cm
3. Alambre rígido para amarre
4. Sobrecimiento, Hormigón Ciclópeo 240kg/cm² 50%, Piedra de río 7cm 50%, con impermeabilizante de resina acuosa de impregnación
5. Cimiento, Hormigón Ciclópeo 180kg/cm² 50%, Piedra de río 15cm 50%

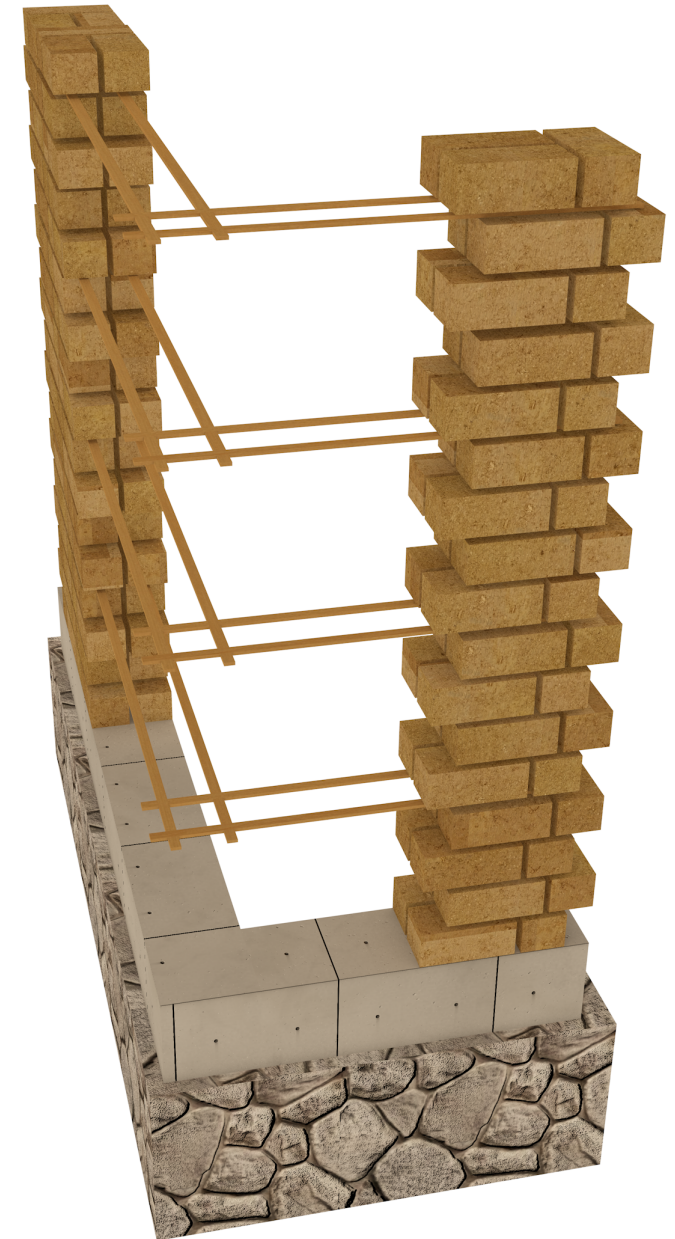


Fig. 48 3D REFUERZO HORIZONTAL

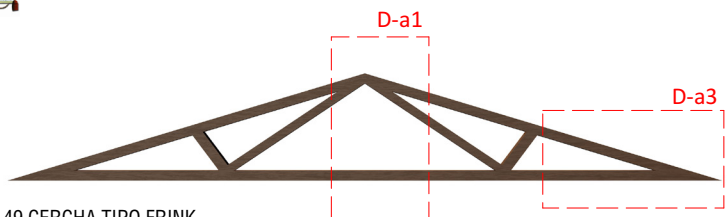


Fig.49 CERCHA TIPO FRINK



Fig. 50 CERCHA TIPO DIENTEL DE SIERRA



Fig. 51 CERCHA TIPO RECTANGULAR

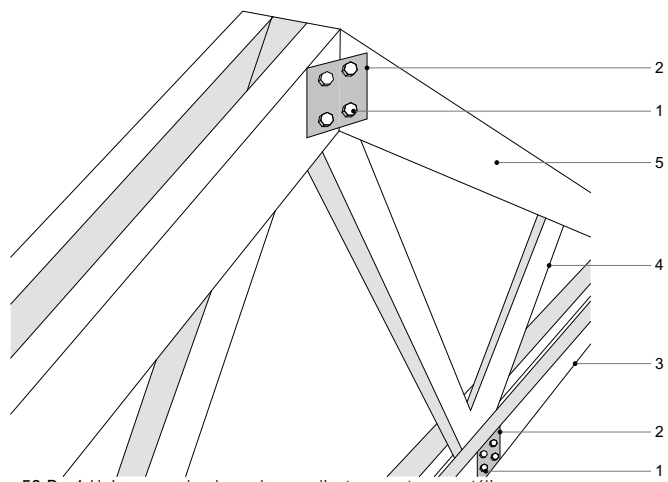


fig. 53 D-a1 Uniones cercha de madera mediante conectores metálicos 1:15

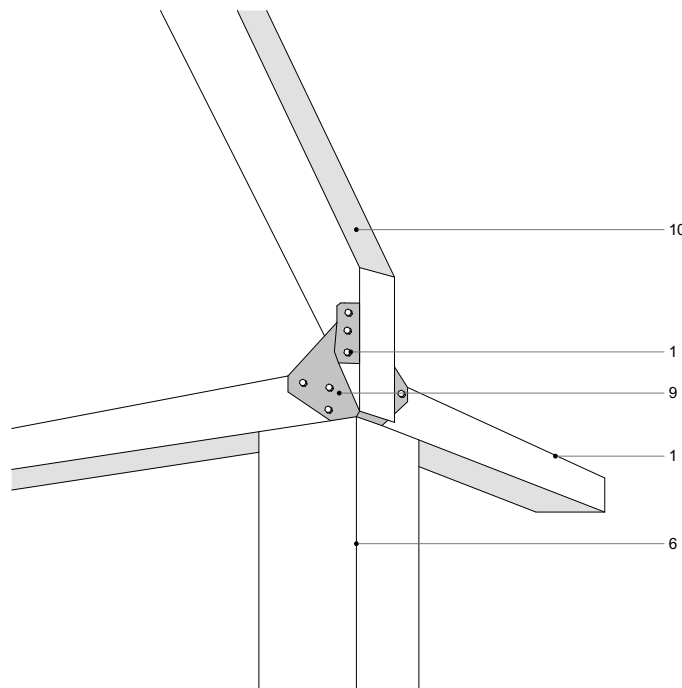


Fig. 54 D-a2 Uniones cercha - viga en esquina, mediante conectores metálicos 1:15

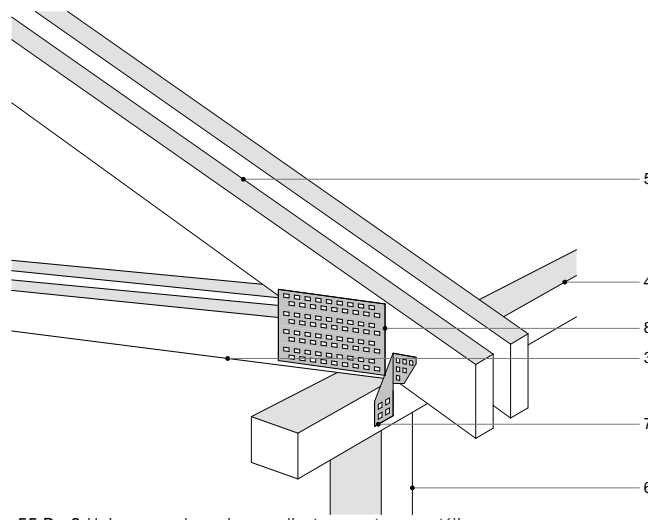


Fig. 55 D-a3 Uniones cercha - viga, mediante conectores metálicos 1:15

1. Perno o Tirafondo cabeza hexagonal, 8x60mm
2. Placa de acero de 2mm
3. Tirante doble, pino 14x4 cm
4. Diagonal simple, pino 14x4 cm
5. Pares dobles, pino 14x4 cm
6. Columna de pino, 20 x 20 cm
7. Conector metálico de tipo: anclaje para vigueta
8. Conector metálico de tipo bandeja 40x20 cm
9. Conector metálico de tipo: esquinero
10. Pares simple, pino 14x4 cm

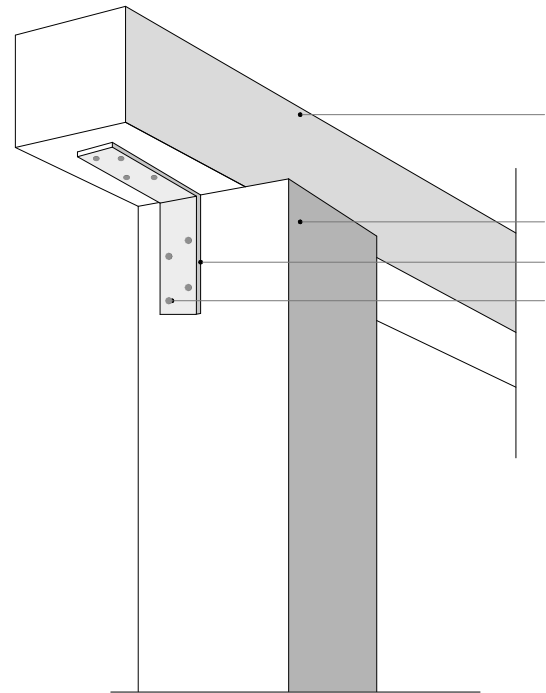


Fig. 56 VIGA - SOLERA
1:15

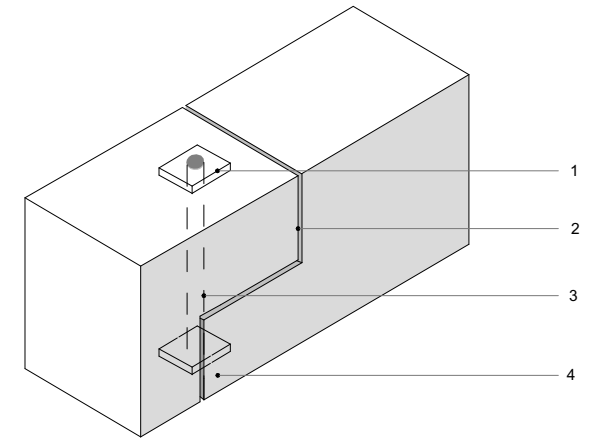


Fig. 58 VIGA - VIGA
1:15

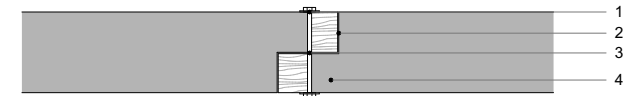


Fig. 59 VIGA - VIGA
1:15

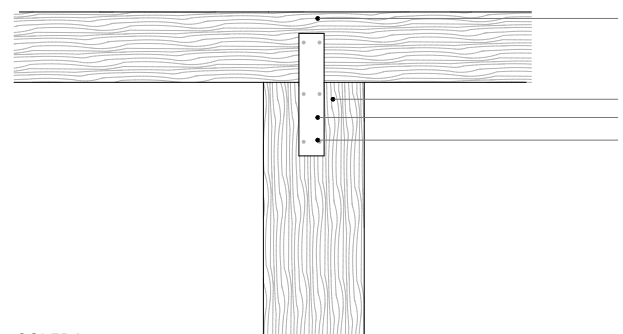


Fig. 57 VIGA - SOLERA
1:15

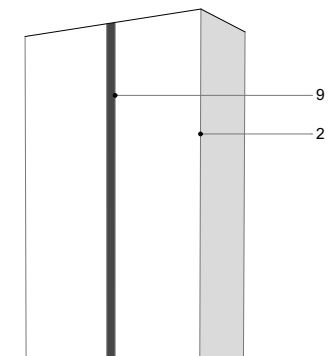


Fig. 60 COLUMNA - COLUMNA
1:15

1. Viga solera de Madera pino tratada con aceite de linaza cocido 14 x 16cm.
2. Columna de Madera pino tratada con aceite de linaza cocido 20 x 20cm.
3. Platina Metálica con pintura anticorrosiva e=2mm
4. Tirafondo de acero inoxidable ¼ x 2 ½
5. Placa de sujeción metálica e = 2mm.
6. Unión a media madera
7. Conjunto mecánico Perno rosca fina 1" x 7"
8. Viga de Madera Pino tratada con aceite de linaza cocido 14 x 16 cm.
9. Material elastico, sello de neoprene de compresion



Fig 61. Perspectiva 1, Montaje en el Terreno - Vivienda con Adobe Prensado



Fig 61. Perspectiva 2, Vista Frontal - de Vivienda con Adobe Prensado



Fig 62. Perspectiva 3, Vista Posterior - Vivienda con Adobe Prensado



Fig 63. Perspectiva 4, Vista Interior - Vivienda con Adobe Prensado



CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





Conclusiones y Recomendaciones

La propuesta de mejoramiento de los bloques de tierra cruda realizados en esta investigación, así como el posterior desarrollo de un anteproyecto utilizando los adobes mejorados, han permitido realizar un estudio del sistema constructivo donde se aportan recursos que demuestran la posibilidad de realizar proyectos de calidad en adobe con criterios de habitabilidad establecidos en las normativas de construcción en tierra. Se debe señalar que las mejoras aplicadas en la propuesta desarrollada en esta investigación (mecánica, química) marcan una diferencia en el tipo de adobe realizado, por lo que después del perfeccionamiento del bloque de tierra cruda se podría considerar como adobe prensado.

Al aplicar la compactación o prensado de los bloques de tierra en una prensa hidráulica, se ha podido constatar que existe una mejora sustancial en cuanto a tiempos de producción se refiere. De igual manera la compactación o prensado genera un aumento significativo en su resistencia a compresión y resistencia a la humedad (comparando con el adobe tradicional)

La estabilización química cumple un papel preponderante en la realización de una propuesta de mejoramiento para el adobe. La combinación del barro con materiales alternativos (estabilizantes) a los empleados en la construcción tradicional (paja) influyen de manera directa en sus propiedades técnicas. De los estabilizantes utilizados se concluye que la cascara de arroz funciona como material de mejoramiento y optimiza las propiedades técnicas del adobe prensado. Además por el precio del insumo, así como el poco volumen necesario de material para realizar el mejoramiento hacen que el costo de optimizar la resistencia mediante este proceso sea casi nulo.

En cuanto al cloruro de sodio se debe descartar su uso como material de mejoramiento para el adobe prensado, ya que ralentiza el tiempo de secado de los bloques teniendo que secarse en tiempos superiores incluso al de los adobes tradicionales y en la mayoría de casos consiguió resistencias que se encuentran en el límite mínimo permitido por las normativas estudiadas, por lo que no se podría considerar para optimizar las propiedades técnicas del adobe.

El empleo de criterios básicos de sismo resistencia al momento de construir una vivienda pueden ser empleados por personas sin ningún conocimiento técnico o de ingeniería, manuales para la autoconstrucción de viviendas de adobe con dichos criterios desarrollados por distintos institutos así lo avalan, sin embargo, de ser posible se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los mismos por personas calificadas en el tema con el fin de alcanzar una mejor calidad de construcción.

Finalmente en la matriz desarrollada para calificar los materiales, se debería reconsiderar el puntaje dado al compuesto cloruro de sodio en el apartado de mejora de propiedades técnicas. En este apartado la calificación otorgada ha sido BUENA(3 pts.), pero después de los ensayos se ha determinado que este material no optimiza ninguna de las propiedades físicas del bloque prensado, razón por la cual la calificación debe tomarse como MALA(1pt).

En futuras investigaciones se debería realizar un estudio aún más exhaustivo de los estabilizantes, el cual debe estar complementado por los conocimientos de un Ingeniero químico no en calidad de asesor como ocurrió en esta investigación, sino como un participante activo del proyecto convirtiendo a la investigación en un estudio interdisciplinario.

Se considera como prioritarias las siguientes líneas futuras de investigación concernientes a este tema:

El estudio de las condicionantes que interfieren en la resistencia a la compresión de albañilería y corte de para lo cual se debería elaborar las denominadas pilas o muretes de adobe donde se emplee el adobe prensado desarrollado en esta investigación.

El desarrollo de propuestas de viviendas para gente de bajos recursos mediante el uso de esta técnica constructiva ya que debido al precio podría existir la viabilidad de industrializar dicho proceso y conseguir un material de bajo costo.





APENDICES



Apendice A

Análisis de Precios Unitarios - Adobe Prensado

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Adobe prensado			UNIDAD:	u	
DETALLE:	Fabricacion y preparacion, con arena extra, (maquinaria comprada)					
EQUIPOS						%
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Prensadora	1	6000.00	0.595	0.010	0.006	
SUBTOTAL M					0.006	3%
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro mayor	1	3.57	3.57	0.010	0.036	
Peon	3	3.18	9.54	0.010	0.10	
Operador de maquinaria	1	3.57	3.57	0.010	0.04	
SUBTOTAL N					0.1668	71%
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Tierra	m3	0.0034	0.000	0.000		
Arena puesta en obra	m3	0.0019	20.000	0.038		
Cascara de arroz	m3	0.0010	3.120	0.003		
SUBTOTAL O					0.041	18%
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	km	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Transporte	10				0.020	
SUBTOTAL P					0.020	9%
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.23	100%
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0.051	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.29	
VALOR OFERTADO					0.29	



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Adobe prensado			UNIDAD:	u	
DETALLE:	Fabricacion y preparacion, (maquinaria comprada)					
EQUIPOS						%
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Prensadora	1	6000.00	0.595	0.010	0.006	
SUBTOTAL M					0.006	3%
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro mayor	1	3.57	3.57	0.010	0.036	
Peon	3	3.18	9.54	0.010	0.10	
Operador de maquinaria	1	3.57	3.57	0.010	0.04	
SUBTOTAL N					0.1668	85%
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Tierra	m3	0.0034	0.000	0.000		
Cascara de arroz	m3	0.0010	3.120	0.003		
SUBTOTAL O					0.003	2%
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	km	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Transporte	10				0.020	
SUBTOTAL P					0.020	10%
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.20	100%
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0.043	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.24	
VALOR OFERTADO					0.24	



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Adobe prensado			UNIDAD:	u	
DETALLE:	Fabricacion y preparacion, con arena extra, (maquinaria alquilada)					
EQUIPOS						%
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Prensadora	1	25.00	3.125	0.010	0.031	
SUBTOTAL M					0.031	12%
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro mayor	1	3.57	3.57	0.010	0.036	
Peon	3	3.18	9.54	0.010	0.10	
Operador de maquinaria	1	3.57	3.57	0.010	0.04	
SUBTOTAL N					0.1668	64%
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Tierra	m3	0.0034	0.000	0.000		
Arena puesta en obra	m3	0.0019	20.000	0.038		
Cascara de arroz	m3	0.0010	3.120	0.003		
SUBTOTAL O					0.041	16%
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	km	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Transporte	10				0.020	
SUBTOTAL P					0.020	8%
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0.259	100%
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0.057	
OTROS INDIRECTOS %						
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.32	
VALOR OFERTADO					0.32	



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Adobe prensado			UNIDAD:	u	
DETALLE:	Fabricacion y preparacion, (maquinaria alquilada)					
EQUIPOS						%
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Prensadora	1	25.00	3.125	0.010	0.031	
SUBTOTAL M					0.031	14%
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro mayor	1	3.57	3.57	0.010	0.036	
Peon	3	3.18	9.54	0.010	0.10	
Operador de maquinaria	1	3.57	3.57	0.010	0.04	
SUBTOTAL N					0.1668	75%
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Tierra	m3	0.0034	0.000	0.000		
Cascara de arroz	m3	0.0010	3.120	0.003		
SUBTOTAL O					0.003	1%
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	km	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Transporte	10				0.020	
SUBTOTAL P					0.020	9%
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0.221	100%
				INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.049	
				OTROS INDIRECTOS %		
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	0.27	
				VALOR OFERTADO	0.27	



Análisis de Precios Unitarios Adobe Prensado con Cáscara de Arroz

De las propuestas de mejoramiento desarrolladas en esta investigación para realizar el análisis de precios unitarios (APU) se eligió el adobe prensado que contenía en su dosificación un porcentaje de cáscara de arroz del 3%, esto debido a las consideraciones expuestas en el apartado 4.1.

A su vez para realizar el APU se consideran diferentes escenarios, es decir, se tomarán distintas variables o condicionantes presentes en el campo de la construcción con el fin de conseguir un precio real del material. Cabe recalcar que este APU se realiza enfocándose en las condicionantes presentes en el austro ecuatoriano. A continuación se señalan las variables que se consideran tienen una mayor posibilidad de acontecer al momento de realizar una vivienda con adobe prensado:

_ El primer análisis se realiza en el caso de adquirir la máquina para la fabricación de adobe prensado. En este caso se planteó dos posibilidades, en el primer caso se toma en cuenta una materia prima (tierra) cuya composición granulométrica no sea la adecuada y deba ser estabilizada con un porcentaje de arena. El precio de la arena puede ser variable ya que depende de la cantidad de material necesario para estabilizar la mezcla, en el caso del APU expuesto el volumen necesario de arena se tomó de la dosificación realizada para la propuesta de mejoramiento desarrollada en esta investigación (Cap 3, Tabla 28). En el segundo caso se toma en cuenta una materia prima cuya composición granulométrica sea apta para la realización de adobes y no sea necesaria una estabilización con arena.

_ En el segundo análisis se plantean las mismas posibilidades descritas anteriormente con la diferencia de que en este caso no se adquiere la máquina para la fabricación de adobe prensado sino se la alquila. Esta práctica puede ser habitual para la construcción de una sola vivienda más no para producción en masa con el fin de comercialización.



ANEXOS



ANEXO A

El Peruano
sábado 10 de junio de 2006

NORMAS LEGALES

320937

NORMA E.080

ADOBE

Artículo 1.- ALCANCE

La Norma comprende lo referente al adobe simple o estabilizado como unidad para la construcción de albañilería con este material, así como las características, comportamiento y diseño.

El objetivo del diseño de construcciones de albañilería de adobe es proyectar edificaciones de interés social y bajo costo que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso frágil de las mismas.

Esta Norma se orienta a mejorar el actual sistema constructivo con adobe tomando como base la realidad de las construcciones de este tipo existentes en la costa y sierra.

Los proyectos que se elaboren con alcances y bases distintos a los consideradas en esta Norma, deberán estar respaldados con un estudio técnico.

Artículo 2.- REQUISITOS GENERALES

2.1. El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos que se señalan en la presente Norma.

2.2. Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.

2.3. Las construcciones de adobe se limitarán a un solo piso en la zona sísmica 3 y a dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1 definidas en la NTE E.030 Diseño Sismorre-sistente.

Por encima del primer piso de adobe, podrán tenerse estructuras livianas tales como las de quincha o similares.

2.4. No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones cauces de avalanchas, aluviones o huaycos o suelos con inestabilidad geológica.

2.5. Dependiendo de la esbeltez de los muros, se deberá incluir la colocación de refuerzos que mejoren el comportamiento integral de la estructura.

Artículo 3.- DEFINICIONES

3.1. Adobe

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

3.2. Adobe Estabilizado

Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.

3.3. Mortero

Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.

3.4. Arriostre

Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.

3.5. Altura Libre de Muro

Es la distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.

3.6. Largo Efectivo

Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.

3.7. Esbeltez

Relación entre la altura libre del muro y su espesor.

3.8. Muro Arriostrado

Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.

3.9. Extremo Libre de Muro

Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.

3.10. Vigas Collar o Soleras

Son elementos de uso obligatorio que generalmente conectan a los entrepisos y techos con los muros. Adecuadamente rigidizados en su plano, actúan como elemento de arriostre horizontal (Ver Artículo 6 (6.3)).

3.11. Contrafuerte

Es un arriostre vertical construido con este único fin.

Artículo 4.- UNIDAD O BLOQUE DE ADOBE

4.1. Requisitos Generales

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

4.2. Formas y Dimensiones

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

4.3. Recomendaciones para su Elaboración

Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 mm y otros elementos extraños.

Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas. Secar los adobes bajo sombra.

Artículo 5.- COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

5.1. Comportamiento Sísmico de las Construcciones de Adobe

Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior; esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad lateral, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano.

Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal.

Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:

- Suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes.
- Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.
- Los vanos deben ser pequeños y de preferencia centrados.
- Dependiendo de la esbeltez de los muros, se definirá un sistema de refuerzo que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

5.2. Fuerzas Sísmicas Horizontales

La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión:

$$H = S U C P$$

Donde:

S: Factor de suelo (indicado en la Tabla 1),

U: Factor de uso (indicados en la Tabla 2),

C: Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3) y

P: Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.

320938

NORMAS LEGALES

El Peruano
sábado 10 de junio de 2006

TABLA 1

Tipo	Descripción	Factor S
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $\geq 3 \text{ Kg/cm}^2$	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $\geq 1 \text{ Kg/cm}^2$	1,2

TABLA 2

Tipo de las Edificaciones	Factor U
Colegios, Postas Médicas, Locales Comunales, Locales Públicos	1,3
Viviendas y otras edificaciones comunes	1,0

5.3. Comportamiento del Adobe Frente a Cargas Verticales

Usualmente la resistencia de la albañilería a cargas verticales no presenta problemas para soportar la carga de uno o dos pisos. Se debe mencionar sin embargo que los elementos que conforman los entrepisos o techos de estas edificaciones, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante la viga collar o solera.

TABLA 3

Zonas Sísmica	Coefficiente Sísmico C
3	0,20
2	0,15
1	0,10

ZONAS SÍSMICAS*
FIGURA 1

* Ver Anexo

5.4. Protección de las Construcciones de Adobe

La humedad y la erosión producidas en los muros, son principales causantes del deterioro de las construcciones de tierra, siendo necesaria su protección a través de:

- Recubrimientos resistentes a la humedad
- Cimientos y sobrecimientos que eviten el contacto del muro con el suelo
- Vereadas perimetrales
- Aleros
- Sistemas de drenaje adecuados

Artículo 6.- SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural de las construcciones de adobe estará compuesto de:

- Cimentación
- Muros
- Elementos de arriostre horizontal
- Elementos de arriostre vertical
- Entrepiso y techo
- Refuerzos

6.1. Cimentación

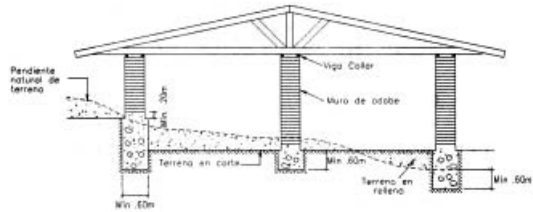
a) No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos ni en arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones, cauces de avalanchas, aluviones o huaycos, o suelos con inestabilidad geológica.

b) La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural y un ancho mínimo de 40 cm.

c) Los cimientos para los muros deberán ser concreto ciclópeo o albañilería de piedra. En zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II para unir la mampostería de piedra (Ver Artículo 7 (7.2)).

d) El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra asentada con mortero Tipo I (Ver Artículo 7 (7.11)), y tendrá una altura tal que sobrealga como mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo. (Ver Figura 2).

FIGURA 2

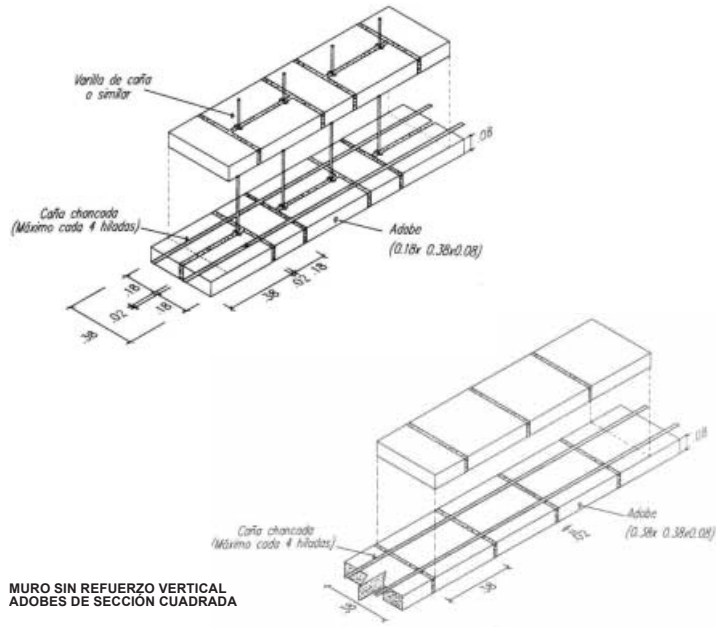


6.2. Muros

- a) Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá controlando la esbeltez y utilizando arriostres o refuerzos.
- b) Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslapé tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.
- c) El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será 12 veces el espesor del muro. (Ver Tabla 4)
- d) En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no arriostreado de puertas y

- ventanas deberá ser considerado como borde libre. El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro y la distancia entre el borde libre al arriostre vertical más próximo no será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. Se exceptúa la condición de 3 veces el espesor del muro en el caso que el muro esté arriostreado al extremo (Ver Figura N° 5)
- e) Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material de los especificados en la Artículo 6 (6.4).
- f) Los muros deberán ser diseñados para garantizar su resistencia, según lo especificado en la Artículo 8.
- g) En caso de muros cuyos encuentros sean diferentes a 90° se diseñarán bloques especiales detallándose los encuentros.

FIGURA 3 MURO REFORZADO CON CAÑA O SIMILAR VERTICAL Y HORIZONTAL

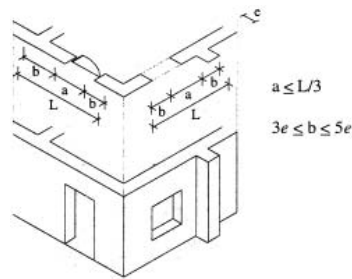


MURO SIN REFUERZO VERTICAL ADOBES DE SECCIÓN CUADRADA

FIGURA 4 TIPOS AMARRE EN ENCUENTROS DE MUROS DE ADOBE CON O SIN REFUERZO

Tipo de encuentro	Muros Reforzados	Muros no Reforzados
En L	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada
En T	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada
En X	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada

FIGURA 5



6.3. Elementos de Arriostre

- a) Para que un muro se considere arriostreado deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos.
- b) Los elementos de arriostre serán verticales y horizontales.
- c) Los arriostres verticales serán muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados. Tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación. Para que un muro o contrafuertes se considere como arriostre vertical tendrá una longitud en la base mayor o igual que 3 veces el espesor del muro que se desee arriostrear.
- d) Pueden usarse como elementos de arriostre vertical, en lugar de los muros transversales o de los contrafuertes de adobe, refuerzos especiales como son las columnas de concreto armado que se detallan en la Sección 6.4, refuerzos especiales.
- e) Los arriostres horizontales son elementos o conjunto de elementos que poseen una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros.



El Peruano
sábado 10 de junio de 2006

NORMAS LEGALES

320941

Los elementos de arrioste horizontal más comunes son los denominados viga collar o solera. Estas pueden ser de madera o en casos especiales de concreto maderado. (Ver Artículo 6 (b-4)).

f) Los elementos de arrioste horizontal se diseñarán como apoyos del muro arriostado, considerándose al muro como una losa vertical sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a él.

g) Se deberá garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deberán conformar un sistema continuo e integrado.

6.4. Refuerzos Especiales

De acuerdo a la esbeltez de los muros que se indican en la Tabla 4, se requieren refuerzos especiales. Estos tienen como objetivo mejorar la conexión en los encuentros de muros o aumentar la ductilidad de los muros. Dentro de los refuerzos especiales más usados se tienen caña, madera o similares, malla de alambre y columnas de concreto armado.

Se detallarán especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.

TABLA 4

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor min. Muro (m)	Altura min. Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0,4 - 0,5	2,4 - 3,0
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3 - 0,5	2,4 - 4,0
$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3 - 0,5	2,7 - 4,5

En casos especiales λ podrá ser mayor de 9 pero menor de 12, siempre y cuando se respalde con un estudio técnico que considere refuerzos que garanticen la estabilidad de la estructura.

a) Caña madera o similares

Estos refuerzos serán tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de hileras (máximo cada 4 hileras) y estarán unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas. Podrán usarse en los encuentros y esquineros de los muros o en toda la longitud de los muros, dependiendo de lo indicado en la Tabla 4.

En el caso de que se utilicen unidades cuya altura sea mayor de 10 cm, las tiras de caña tendrán un espaciamiento máximo de 40 cm.

Las tiras de caña o similares se colocarán necesariamente coincidentes con el nivel superior o inferior de todos los vanos.

Se colocarán cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en un plano central entre unidades de adobe (Ver Figura 3), o en alvéolos de mínimo 5 cm de diámetro dejados en los adobes (Ver Figura 3).

En ambos casos se rellenarán los vacíos con mortero. En esfuerzo vertical deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura y seca o elementos rectos y secos de eucalipto u otros similares.

Se podrá usar madera en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros.

La viga solera se anclará adecuadamente al muro y al dintel si lo hubiese.

b) Malla de alambre

Se puede usar como refuerzo exterior aplicado sobre la superficie del muro y anclado adecuadamente a él. Deberá estar protegido por una capa de mortero de cemento - arena de 4 cm aproximadamente.

La colocación de la malla puede hacerse en una o dos caras del muro, en cuyo caso se unirá ambas capas mediante elementos de conexión a través del muro. Su uso es eficiente en las esquinas asegurado un traslape adecuado.

c) Columnas y vigas de concreto armado

La utilización de columnas de concreto armado como confinamiento de muros de adobe debe utilizarse en casos en que el espesor del muro no exceda los 25 cm y se utilice para unir los adobes un mortero que contenga cemento para poder anclar alambre de $\frac{1}{4}$ " cada tres hileras

con la finalidad de conseguir una adecuada transmisión de esfuerzos entre el muro y la columna.

La utilización de vigas soleras de concreto armado tiene como objetivo contribuir a formar un diagrama rígido en el nivel en que se construya, puede ser colocado en varios niveles formando anillos cerrados, pero principalmente debe colocarse en la parte superior. Se puede combinar con elementos de refuerzo verticales como cañas o columnas de concreto armado.

De acuerdo al espesor de los muros, se deberá colocar el refuerzo que se indica en la Tabla 4.

En casos especiales se podrá considerar espesores de muro de 20 - 25 cm, siempre que se respalde por un estudio técnico que considere refuerzos verticales y horizontales.

6.5. Techos

a) Los techos deberán en lo posible ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros; además, deberán estar adecuadamente fijados a éstos a través de la viga solera.

b) Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros, empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.

c) En general, los techos livianos no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros. La distribución de las fuerzas de sismo se hará por zonas de influencia sobre cada muro longitudinal, considerando la propia masa y las fracciones pertinentes de las masas de los muros transversales y la del techo.

d) En el caso de utilizar tijaerles, el sistema estructural del techado deberá garantizar la estabilidad lateral de los tijaerles.

e) En los techos de las construcciones se deberá considerar las pendientes, las características de impermeabilidad, asilamiento térmico y longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.

Artículo 7.- MORTEROS

Los morteros se clasificarán en dos grupos:

a) Tipo I (en base a tierra con algún aglomerante como cemento, cal, asfalto, etc.).

b) Tipo II (en base a tierra con paja).

Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán contener un mortero del tipo I o II de buena calidad.

7.1. Mortero Tipo I

Mortero de suelo y algún aglomerante como cemento, cal o asfalto.

Deberá utilizarse la cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad.

Las proporciones dependen de las características granulométricas de los agregados y de las características específicas de otros componentes que puedan emplearse.

7.2. Mortero Tipo II

La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades de adobe y de ninguna manera tendrá una calidad menor que las mismas.

Deberá emplearse la cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.

Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.

Artículo 8.- ESFUERZOS ADMISIBLES

Los ensayos para la obtención de los esfuerzos admisibles de diseño considerarán la variabilidad de los materiales a usarse.

Para fines de diseño se considerará los siguientes esfuerzos mínimos

• Resistencia a la compresión de la unidad:

$$f_u = 12 \text{ kg/cm}^2$$

• Resistencia a la compresión de la albañilería:

$$f_m = 0,25 f_u \text{ ó } 2 \text{ kg/cm}^2$$

320942

NORMAS LEGALES

El Peruano
sábado 10 de junio de 2006

• Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$1,25 f_m$$

• Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

8.1. Resistencia a la Compresión de la Unidad

La resistencia a la compresión de la unidad se determinará ensayando cubos labrados cuya arista será igual a la menor dimensión de la unidad de adobe.

El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtendrá en base al área de la sección transversal, debiéndose ensayar un mínimo de 6 cubos, definiéndose la resistencia última (f_u) como el valor que sobrepase en el 80% de las piezas ensayadas.

Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor de f_u mínimo aceptable de 12 kg/cm².

La resistencia a la compresión de la unidad es un índice de la calidad de la misma y no de la albañilería.

8.2. Resistencia a la Compresión de la Albañilería

La resistencia a la compresión de la albañilería podrá determinarse por:

a) Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra.

Las pilas estarán compuestas por el número entero de adobes necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura / espesor) del orden de aproximadamente tres (3), debiéndose tener especial cuidado en mantener su verticalidad.

El número mínimo de adobes será de cuatro (4) y el espesor de las juntas será de 2 cm. La disposición del ensayo será la mostrada en la Figura 6.

El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días y el número mínimo de pilas a ensayar será de tres (3).

Mediante estos ensayos se obtiene el esfuerzo último f_u en compresión de la pila, considerándose aquel valor que sobrepasa en 2 de la 3 pilas ensayadas.

Es esfuerzo admisible a compresión del muro (f_m) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$f_m = 0,25 f_u$$

Donde:

f_m = esfuerzo de compresión último de la pila

b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible:

$$f_m = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$$

8.3. Esfuerzo Admisible de Compresión por Aplastamiento

El esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento será: $1,25 f_m$

8.4. Resistencia al Corte de la Albañilería

La resistencia al corte de la albañilería se podrá determinar por:

a) Ensayos de compresión diagonal con materiales y tecnología a usarse en obra.

La disposición del ensayo será la mostrada en la Figura 7.

Se ensayarán un mínimo de tres (3) especímenes. El esfuerzo admisible al corte del muro (V_m) se obtendrá con la expresión:

$$V_m = 0,4 f'_i$$

Donde:

f'_i = esfuerzo último del murete de ensayo.

Este valor será el sobrepasado por 2 de cada 3 de los muretes ensayados.

b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de muretes, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible al corte:

$$V_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

Artículo 9.- DISEÑO DE MUROS

9.1. Diseño de Muros Longitudinales
La aplicación de la resistencia V_m se efectuará sobre el área transversal crítica de cada muro, descontando vanos si fuera el caso.

FIGURA 6
ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

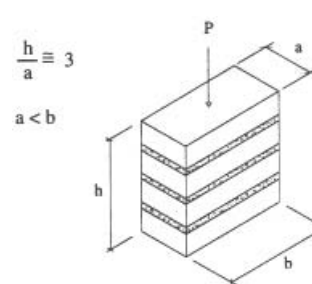
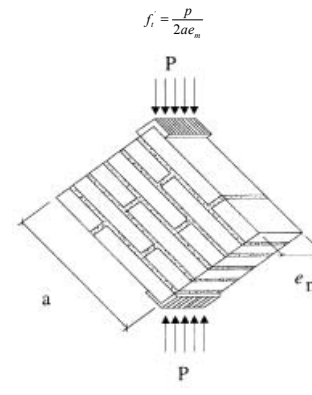


FIGURA 7
ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL



ANEXO

ZONIFICACIÓN SÍSMICA
Las zonas sísmicas en que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1. A continuación se especifican las provincias de cada zona.

- Zona 1**
1. Departamento de Loreto. Provincias de Ramón Castilla, Maynas, y Requena.
2. Departamento de Ucayali. Provincia de Purús.
3. Departamento de Madre de Dios. Provincia de Tahuamán.

- Zona 2**
1. Departamento de Loreto. Provincias de Loreto, Alto Amazonas y Ucayali.

ANEXO B



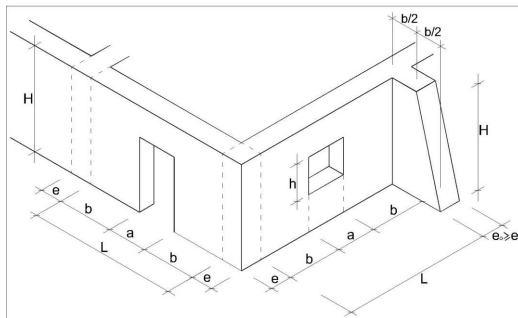
PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y SaneamientoViceministerio de
Construcción y SaneamientoDirección Nacional de
Construcción

"Año de la Inversión para el desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

- Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro será de 0.40 m.
En caso se opte por otras dimensiones, el ingeniero responsable deberá sustentar su propuesta mediante métodos racionales y/o experimentales.
- La densidad de muros en la dirección de los dos ejes principales tendrá el valor mínimo indicado en la TABLA 2 - FACTOR DE USO Y DENSIDAD POR TIPO DE EDIFICACION. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.
- Tener una planta simétrica respecto a los dos ejes principales.
- El espesor, densidad y altura de muros, la distancia entre arriostres verticales, las dimensiones de las aberturas, así como los materiales y la técnica constructiva, para la construcción de una edificación de tierra, deben ser aplicados de manera continua y homogénea.
- Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado en la FIGURA 1. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

FIGURA 1 - ESQUEMA DE LA POSICIÓN Y DIMENSIONES DE LOS VANOS. DISTANCIA DE ARRIOSTRES VERTICALES (L) O LÍMITES DE ALTURA (H), EN FUNCIÓN AL MENOR ESPESOR DEL MUROS (e).



$$\begin{aligned} a &\leq L/3 \\ 3e &\leq b \leq 5e \\ L &\leq 10e ; H \leq 8e \\ L + 1,25H &\leq 17,5e \\ \lambda_H + 1,25\lambda_V &\leq 17,5 \\ \lambda_{H \text{ min}} &= 10; \lambda_{V \text{ min}} = 8 \end{aligned}$$



BIBLIOGRAFÍA

Referencia imágenes, tablas y diagramas

IMÁGENES CAPITULO I:

Fig.1 Recuperado de: <http://www.futuropasado.com/?p=720>

Fig.2. Recuperado de: <http://static.panoramio.com/photos/large/2366822.jpg> Construcción en Tierra

Fig.3 Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo.

Fig.4, 5 Blondet, M. & Villa Garcia, G., (2004). EARTHQUAKE RESISTANT EARTHEN BUILDINGS?. Vancouver, s.n. Recuperado de: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2328.pdf

Fig.6. Recuperado de: <http://fotospaisajeyciudad.blogspot.com/2013/06/casa-de-las-posadas-cuenca.html> Casa de las Posadas, interior

Fig.7. Recuperado de: <http://www.dondeviajar.net/wp-content/uploads/2009/06/casa-de-las-posadas.jpg>

Fig.8. . Recuperado de: http://ec.geoview.info/casa_adobe,17899026p vivienda de adobe, Azuay Ecuador

Fig.9. . Recuperado de: <http://arquitecturadec casas.blogspot.com/2011/06/casa-de-adobe-moderna.html> vivienda de adobe contemporáneo

Fig.10-13 Grupo tesis

Fig.14-15 Peña de la, D., (1995). Adobe, Características y sus principales usos en la construcción. México: s.n.

Fig.16-21 Grupo tesis

Fig.22a. Recuperado de: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms05.htm> ensayo del límite líquido, según casagrande

Fig.22b. Recuperado de: http://proetisa.com/fotos/productos/1f_1016g.jpg Copa Casa Grande

Fig.23-24 Grupo tesis

Fig.25 Recuperado de: <http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index>.

[php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=134&virtuemart_category_id=11&lang=es](http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index) ensayo para el límite plástico

Fig.26 Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo.

Fig.27-30 Grupo tesis

Fig.31a, b Recuperado de: <http://habitatydesarrollo.files.wordpress.com/2012/02/wp6e55dce9.png> Selección del suelo

Fig.32. Recuperado de: <http://static.treslineas.com.ar/foto/nota-1110433-difundiran-tecnicas-construccion-tierra-449152.jpg>

Fig.33.a Recuperado de: http://4.bp.blogspot.com/-IR6Yzg8InNs/ULFTmi07U_I/AAAAAAAAAoA/6PtW2WjFINw/s1600/201210-24+07.15.39.jpg Moldes de adobe

Fig.33b. Recuperado de: <http://static.panoramio.com/photos/large/18861977.jpg>

Fig.34. Recuperado de: <http://habitatydesarrollo.files.wordpress.com/2012/02/wpa9ad36751.png> Colocación de adobe en moldes

Fig.35. Recuperado de: <http://habitatydesarrollo.files.wordpress.com/2012/02/wp8579d8e5.png> Emparejado de la superficie

Fig.36a. Recuperado de: http://www.segeda.net/inves/proy/experimental/foto_08_2006.jpg secado adobe

Fig.36.b Recuperado de: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/08/43.png> secado adobe lateral

Fig.37. https://c1.staticflickr.com/3/2034/2050495732_94efd80fa9.jpg Prensa manual Cinva RAM

Fig.38. Cevallos, P., Ramón, J., Trigueros, F., & De Oleza, E. (2014). Lienzo de Barro. Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en regiones sísmicas (págs. 106-109). San Salvador: SIACOT 14.,p. 106

Fig.39. Recuperado de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan/52feaa92e8e4>



4e1589000197

Fig.40. Recuperado de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan/52feaaace8e44e3cd0000166>

Fig.41 Cevallos, P., Ramón, J., Trigueros, F., & De Oleza, E. (2014). Lienzo de Barro. Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en regiones sísmicas (págs. 106-109). San Salvador: SIACOT 14.,p. 108

Fig.45 Recuperado de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan/52feab1ee8e44e158900019a>

Fig.46 Recuperado de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan/52feab1ee8e44e3cd0000168>

Fig.47 Recuperado de: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan/52feaf4e8e44e1589000199>

Fig.48-54. Martínez, E. (2012). Construcción del modulo 3 de la Universidad Chiquitana. Tesis de grado no publicada. Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, España.

Fig.55, 60 Recuperado de: http://www.cannabric.com/proyectos/propios/vivienda_unifamiliar_2005/

Fig.56-59 Ecohabitar N°8, invierno (2006) Recuperado de: http://www.construtierra.org/documents/Casadecannabric_000.pdf

Fig.61 Blondet, M. & Villa Garcia, G., (2004). EARTHQUAKE RESISTANT EARTHEN BUILDINGS?. Vancouver, s.n. Recuperado de: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2328.pdf

Fig.62, 64 Zelaya, V., (2007). Estudio sobre Diseño Sísmico en construcciones de Adobe y su incidencia en la reducción de desastres. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.

Fig.63 Recuperado de: <https://lunchland.files.wordpress.com/2010/08/falla-tipica-por-sismo-01.jpg>

Fig.65 Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo.

Fig.66 Blondet M., Villa García, G., Brzev, S., (2003). EARTHQUAKE RESEARCH INSTITUTE., Oakland. Recuperado de: [www. World-housing.net](http://www.World-housing.net)

Fig.67-70, 72-74 Minke, G., (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Segunda ed. Kassel: Forschungslabor fur Experimentelles Bauen.

Fig.75-77 San Bartolomé, Á. & Quiun, D., (2008). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento de viviendas de adobe. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fig.78, 81,82 Quispe Acosta, J. & Rondón Durand, S., (2012). Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de yauyos. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Fig.79 Recuperado de: <https://cobquecura.files.wordpress.com/2010/12/6.jpg>

Fig.80 Blondet, M., Julio, V. & Daniel, T., (2010). MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE REFORZADO CON GEOMALLAS. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universida Católica del Perú

Fig.83-86 Villon, F. & Castillo, D., (2013). COMPORTAMIENTO SISIMICO DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE TIERRA PRENSADA. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Fig.87, 88. Norma Española UNE 41410:2008. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. España: AENOR.

TABLA CAPITULO I

Tabla 1. Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo. pág. (23), curva granulométrica con 3 tipos de barroes diferentes.

Tabla 2. Grupo tesis

Tabla 3. Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra.

Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo. pág. (78), Curva de Distribución Granulométrica optimizada para adobes.

Tabla 4. Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra.

Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo. pág. (56), Reducción de la resistencia a compresión del barro con adición de paja cortada

Tabla 5. Cid, J., Mazarrón, F. & Cañas, I., (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la Construcción, 63(523) pág. 164

Tabla 6. Normativas de Construcción en el mundo.

Tabla 7. Norma UNE 41410_2008_ Resistencia a la erosión.

DIAGRAMAS CAPITULO I

Diagrama 1. Composición Óptima de Tierra para elaboración de Adobe, Tapial y Bloque De la peña estrada

Diagrama 2. Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe

Diagrama 3. Diagrama del proceso de fabricación del adobe - Unidad básica del mampuesto.

IMÁGENES CAPITULO II:

Fig.1: Recuperado de: <http://www.alberjerte.com/sites/default/files/imagecache/GrandeLightbox/Chozas-en-el-valle-del-jerte-Alberjerte36.jpg>

Fig.2: Calderón, Juan, De los movimientos modernos a las arquitecturas vernáculas, (2008), Universidad de Cuenca, tesis de grado no publicada

Fig.3, 4: (Mónica Pesantez, I. G. (2011). Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar, 20

Fig.5: Recuperado de: [Recuperado de: http://static.panoramio.com/photos/large/11792219.jpg](http://static.panoramio.com/photos/large/11792219.jpg)

Fig.6: Recuperado de: [Recuperado de: http://visitacuencaya.files.wordpress.com/2014/08/ciudad-de-cuenca.jpg](http://visitacuencaya.files.wordpress.com/2014/08/ciudad-de-cuenca.jpg)

Fig.7: Recuperado de: <http://www.ingapircastereo.com/images/ingapirca.jpg>

Fig.8: Recuperado de: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Ingapirca_Canari_structures.jpg

Fig.9: Calderón, Juan, de los movimientos modernos a las arquitecturas vernáculas, (2008), Universidad de Cuenca, tesis de grado no publicada

Fig.10, 11: (Mónica Pesantez, I. G. (2011). Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar, 114.

Fig.12a: Calderón, Juan, de los movimientos modernos a las arquitecturas vernáculas, (2008), Universidad de Cuenca, tesis de grado no publicada

Fig.12c: Recuperado de: <http://www.carmaxrentacar.com/images/hotel-santa-lucia-cuenca.jpg>

Fig.12b: Recuperado de: https://planetatouroperador.files.wordpress.com/2012/03/800px-cuenca_ecuador_corte_sup_just_04.jpg

Fig.13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21: Grupo tesis

Fig.22: Recuperado de: <https://www.google.com/maps/@-2.9046345,-79.0089716,14z>

Fig.23: Grupo tesis

Fig.24, 25: Santiago bravo

Fig.26: Grupo tesis

Fig.27, 28: Grupo tesis

Fig.29, 30, 31

Fig.32, 33, 34, 35: Grupo tesis

Fig.36, 37a, 37b: Santiago Bravo

Fig.38, 39: Santiago Bravo

Fig.40a, 40b, 41, 42, 43a, 43b: Grupo tesis

Fig.44: Arq. Iván Andrés Quizhpe



Fig.45, 46: © Sebastián Crespo
 Fig.47, 48, 49, 50: Arq. Iván Andrés Quizhpe
 Fig.51, 52, 53: Grupo tesis
 Fig.54a, 54b: © Sebastián Crespo
 Fig.55, 56: Grupo tesis
 Fig.57a, 57b: © Sebastián Crespo
 Fig.58: Grupo tesis
 Fig.59, 60, 61: © Sebastián Crespo
 Fig.62, 63: Arq. Iván Andrés Quizhpe

TABLA CAPITULO II

Tabla 1: Grupo tesis

IMÁGENES CAPITULO III

Fig.1: Recuperado de: http://lacasadelapintura.com/77-home_default/cemento-gris.jpg
 Fig.2: Recuperado de: <http://3.bp.blogspot.com/-zHTnpRfczkw/T8ZtxRKVnVI/AAAAAAAAAEhU/RPEyKdJbjrY/s1600/paladaressiglo21-ingredientes-sal.jpg>
 Fig.3: Recuperado de: http://3.bp.blogspot.com/-7Ax3TsdKlDl/T_G7hewdW5I/AAAAAAAAAL4/MFu6Z2_-hQw/s1600/sassetti.jpg
 Fig.4: Recuperado de: <http://www.zeolitech.com/style/images/big/SCa-1.jpg>
 Fig.5: Recuperado de: <http://3.imimg.com/data3/NJ/BW/MY-5441985/phenol-formaldehyde-resin-liquid-form-500x500.png>
 Fig.6: Recuperado de: http://www.resinasguadalajara.com.mx/sites/default/files/general_imagen/productos/IMG_2036_1.JPG
 Fig.7: Recuperado de: <http://www.es.all.biz/img/es/catalog/16511.jpeg>
 Fig.8: Recuperado de: http://i00.i.aliimg.com/img/pb/872/732/367/367732872_214.jpg

Fig.9: Recuperado de: http://www.decanto.es/images/phocagallery/thumbs/phoca_thumb_l_puzolana_roja.jpg
 Fig.10: Recuperado de: <http://www.experimentosfaciles.com/wp-content/uploads/2014/11/al4.jpg>
 Fig.11: Recuperado de: <http://buenasalud.net/wp-content/uploads/imagenes/Beneficiosdelaceitedelinazaparatunutricinysalud298x300.jpg>
 Fig.12: Recuperado de: <http://t1.gstatic.com/s?q=tbN:ANd9GcReYcVEBIhCC3wNkBlYlafNrtzpXZHx4SryG3xeH01bczW9fF9X>
 Fig.13: Recuperado de: http://blog.espol.edu.ec/ronnyrg/files/2012/01/37594951_1.jpg
 Fig.14: Recuperado de: http://noticiasdelaciencia.com/upload/img/periodico/img_5922.jpg
 Fig.15-26: Grupo tesis
 Fig.27: Castilla, F. J., (2011). Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. Informes de la Construcción, 63(523), pp. 143-152. 3.
 Fig.28: Castilla, F. J., (2011). Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. Informes de la Construcción, 63(523), pp. 143-152.4.
 Fig.29: Recuperado de: http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2014/01/repapar_revoco_tapial_03.jpg

DIAGRAMAS CAPITULO III

Diagrama 1: Suárez Barraza, M. F., & Miguel Dávila, J. Á. (2011). Encontrando al "Kaizen": un análisis teórico de la "mejora continua".
 Diagrama 2-4: Grupo tesis

TABLAS CAPITULO III

Tabla 1: Minke, G., (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo.



Tabla 2 -4: Grupo tesis

Tabla 5: Alejandro Salazar j. Recuperado de: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>

Tabla 6-33: Grupo tesis

Tabla 34: Seisdodos, J. & López , R., 2010. Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC. La arquitectura construida en tierra, pp.91

Tabla 35-62: grupo tesis

IMÁGENES CAPITULO IV

Fig.1-60 Grupo tesis

DIAGRAMAS CAPITULO IV

Diagrama 1: Grupo tesis

TABLAS CAPITULO IV

Tabla 1-3: Grupo tesis



Referencias Bibliográficas

LIBROS

- Bailey, A. E. (1984). Aceites y grasas industriales. Barcelona: Reverté.
- Doerner, M., (2005). Los materiales de pintura y su empleo en el arte. Barcelona: Reverté.
- Fathy, H. (1975). Arquitectura para los pobres. Textos Extemporaneos.
- Fonseca, X., (2002). Las medidas de una Casa. Pax México
- Guillaud, H. & Joffroy, T. (1995). Compressed Earth Blocks : Manual of Design and Construction. s.l.:s.n.
- Libro Verde sobre la eficiencia energética (2005).
- Manzano, F. F.(1985). Historia de una Comarca alto extremeña:El valle del Jerte. El Brocensio.
- MASAAKI IMAI (1998). Kaizen: La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa. Compañía Editorial Continental.
- Minke, G. (2001). Manual de Construcción en tierra. Segunda ed. Kassel: Fin de Siglo.
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Segunda ed. Kassel: Forschungslabor fur Experimentelles Bauen.
- Morales, R., Torres Cabrejos, R., Rengifo, L. & Irala, C., (1993). Manual para la construcción de viviendas de adobe, Lima: s.n.
- Pesantez, M. & Gonzalez, I. (2011). Arquitectura Tradicional en Azuay y Cañar. Cuenca: INPC Regional 6.
- Rigassi, V. (1985). Compressed earth blocks: Manual of Production. Vol I: CRATERRE-EAG.
- Vintimilla, J.C. (1983). La evolución urbana de Cuenca en el Siglo XIX. Cuenca.

CAPITULOS DE LIBROS

- Malo, M. L. (S.F). ASFALTO. SU ORIGEN, SU PREPARACIÓN, SUS APLICACIONES. Pp. 730-738.
- Viqueira, M. R., (2001). La Arquitectura en Tierra. En: Introducción a la Arquitectura Bioclimática. México: Limusa, pp. 81-100.

ARTÍCULO EN REVISTA

- Achenza, M. & Fenu, L., (2006). On earth stabilization with natural polymers for earth. Materials and Structures, 39, pp. 21-27.
- Aderibigbe, D.A., Ojobo, A.E., April, 1982. "Properties of cupola slag as a pozzolana and its effects on partial replacement of cement in a mortar", Conservation & Recycling, v. 5, n. 4, pp. 203-208.
- Arguello Méndez, T. D. R., & Cuchí Burgos, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de la Construcción 60, 25–34. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/588/670>
- Baca, L. F. G., Gutiérrez, R. S. R., & López, F. J. S. (2010). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. Palapa, (10), 45-57.
- Bestraten Castells, S., & Hormías Laperal, E. (2011). La tierra material de construcción, una aproximación contemporánea. Informes de la Construcción, 63(523), 335-344.
- Calderón, M.L.S. Revista de Clases Historia.
- Castilla, F. J., 2011. Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. Informes de la Construcción, 63(523), pp. 143-152.
- Ceccato, D., Masuero, A., Moraes, C., & Vilela, A. (2009). Reciclaje de escoria granulada de fundición (EGF) como sustitución de parte del cemento en hormigón. Revista Matéria, 14(1), 737-748.
- Cevallos, P., Ramón, J., Trigueros, F., & De Oleza, E. (2014). Lienzo de Barro. Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en regiones sísmicas (págs.

106-109). San Salvador: SIACOT 14.

Cid, J., Mazarrón, F. & Cañas, I., (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), pp. 159-160.

Da Silva Milaojoboni, A. P., & Freire, W. J. (2011). Evaluación físico-mecánica de ladrillos de mezclas de suelo-cemento-cáscara de arroz. *Revista Ingeniería de Construcción*, 20(2), 91-100.

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Informacion Tecnológica*, 23(1), 163–176. doi:10.4067/S0718-07642012000100017

Gama-Castro, J. E. y otros, (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Redalyc*, 64(2), pp. 177-188

Gatani, M., (2000). LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO: MAMPUESTO TRADICIONAL EN BASE A UN MATERIAL SOSTENIBLE. *Informes de la Construcción*, 51(466), pp. 35-47.

Gonzalez Cuervo, C. P., Montañó Angarita, A. M. & Castro Rodríguez, D. C., (2012). Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto. *El hombre y la máquina*, 1(38), pp. 59-65

López-Lara, T., Hernández-Zaragoza, J. B., Horta-Rangel, J., Castaño-Meneses, V. M., & Coronado-Márquez, A. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(3), 159-168.

M. Blondet, J. V. N. T. C. I., (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 63(523), pp. 41-50.

Maldonado Ramos, L., Castilla Pascual, F. & Vela Cossío, F., (2001). Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida. *Informes de la Construcción*, 53(473), pp. 27-37.

Rivera Torres, J. & Muñoz Díaz, E. E.,(s.f.). Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: El Adobe. *Revista Internacional de desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 5(135), pp. 135 - 148.

Rodríguez, M. A. & Saroza, B., (2006). Identificación de la composición óptima del adobe como material. *Materiales de Construcción*, 56(282), pp. 53-62.

Ruiz,G.,Montoya,C.& Paniagua,M.2009. Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca. *EIA*, 12,67-78

Salas, J., & Veras Castro, J. (1985). Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cáscara de arroz. *Informes de la Construcción*, 37(372), 53-64.

Saroza, B., Rodríguez, M., Menéndez, J. & Barroso, J., 2008. Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. *Informes de la Construcción*, 60(511), pp. 41-47.

Seisdedos, J. & López, R., (2010). Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC. *La arquitectura construida en tierra*, pp. 289-294.

Tauta, J. F. C., Ortiz, O. J. R., Antolínez, C. M., & Méndez, D. F. (2006). Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(2), 45-53.

Valverde, A., López, B. S., & Yanes, J. P. M. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 5(37), 255-260.

Vinent, M. S., Bouza, A. C. R., & Rodríguez, V. C. (2001). Escoria de fundición: estudio cinético y elección de un sistema de molienda. *Materiales de construcción*, (262).

REPORTES TÉCNICOS E INFORMES

Aguilar, J. (2010). *La mejora Continua*. Oaxaca: Asociación Oaxaqueña de Psicología A.C.



- Aguilar, J., 2010. La mejora Continua. Oaxaca: Asociación Oaxaqueña de Psicología A.C. Recuperado de: http://www.conductitlan.net/psicologia_organizacional/la_mejora_continua.pdf
- Gutierrez, L. & Manco, M., (2006). Características Sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú. Contribución a la enciclopedia mundial de vivienda. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Oshiro, F., s.f.. Construcción de Vivienda económica en adobe estabilizado. s.l.:s.n.
- Pérez Salazar, A., & Garnica Anguas, P. (2002). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para uso en las vías terrestres. Publicación Técnica, (201). PrevenciónBip. (S.F). Riesgos laborales derivados del uso del asfalto y/o productos bituminosos. PrevenciónBip, 115.
- Ruiz Tovar, J. V., & Rubio Vargas, J. P. (2014). Estudio de la adherencia en la interface suelo-polímero y una aproximación numérica al problema. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- San Bartolomé, Á. & Quiun, D., (2008). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento de viviendas de adobe. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Torrealva, D., Vargas, J. & Blondet, M., (2009). Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Villarino Otero, A. (2010). Breve Descripción de la Ingeniería civil. Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- Villon, F. & Castillo, D., (2013). COMPORTAMIENTO SISIMICO DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE TIERRA PRENSADA. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

CONGRESOS

- Bestraten, S. & Hormias, E., 2012. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA EN EL PROYECTO DEL CENTRO DEL ADULTO MAYOR DE SAN JOSE DE CHIQUITOS, BLOVIA. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. Valladolid. pp. 195-206.
- Blondet, M. & Villa Garcia, G., (2004) Earthquake resistant earthen buildings?. Vancouver, 13th World Conference on Earthquake Engineering. Recuperado de: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2328.pdf
- Cevallos, P., Ramón, J., Trigueros, F., & De Oleza, E. (2014). Lienzo de Barro. Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en regiones sísmicas (págs. 106-109). San Salvador: SIACOT 14.
- Fernandes, M., Mirão, J., Velosa, A., & Candeias, A. (2012). ESTABILIZACIÓN DE TIERRA CON CAL-VENTAJAS Y DESVENTAJAS. Lima, Perú. SIACOT 12.
- Kita, Y., Daneels, A. (2014). Evaluación de aditivos orgánicos para intervención de la construcción prehispánica en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, a través de experimentos en el sitio. San Salvador, Salvador. SIACOT 14.
- Madero, J., & Martín, J. (2013). La tierra en la construcción de cerramientos con materiales de reciclaje. Congreso de Arquitectura de Tierra En Cuenca de Campos, pp. 389-396.
- San Bartolomé, A., Quinn, D. & Zegarra, L., 2003. Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe. Guanajuato: Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.



TESIS DE PRE-GRADO Y POST-GRADO O DOCTORADO

- Barbeta Isolá, G., (2002). Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. Tesis Doctoral. Escola Técnica Superior D' Arquitectura de Barcelona. Barcelona, España.
- Bravo Sornoza, A. A., & Velásquez Chica, J. A. (2010). Comercialización de almidón de yuca, para abastecer el Mercado de Colombia a través de la implementación de una planta procesadora ubicada en la Parroquia Canuto del Cantón Chone. Tesis de Grado.
- Calderón, J. C. (2008). De los "movimientos modernos" a las "arquitecturas vernáculas". Tesis de grado no publicada. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Carcedo Fernández, M. (2012). Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Checa Gordillo, C. M. & Jurado, F. M., 2001. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA FIBRA DE CABUYA Y SU APLICACIÓN. Tesis de Grado no publicada. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Cid Falceto, J., (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- González Acuña, R. E., 2012. Caracterización de geopolímeros base ceniza volante y escoria granulada de alto horno. Tesis de Maestría. Universidad autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- Martínez, E. (2012). Construcción del modulo 3 de la Universidad Chiquitana. Tesis de grado no publicada. Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Molina Larrea, F. X., (2014). "Modelo para la determinación de actividad puzolánica por correlación entre: difracción de rayos x, y método del cemento". Tesis de Grado no publicada. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Montes Bernabé, J. L., 2009. Estudio del efecto de la fibra de bagazo de Agave angustifolia en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.
- Quispe Acosta, J. & Rondón Durand, S. (2012). Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de yauyos. Pontificia. Tesis de grado no publicada. Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Sampedro Alban, M. P., 2009. "ESTUDIO E INVESTIGACION DEL SHAWARMISHKI (AGUA MIEL), ANALISIS DE SUS PROPIEDADES, SU EXPLOTACION, APLICACIÓN CULINARIA DE ESTE PRODUCTO MILENARIO". Tesis de Grado no publicada Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Siavichay, D. & Narvaez, J. (2012). Propuesta de mejoramiento de las características técnicas del Adobe para la aplicación en viviendas unifamiliares emplazadas en el área periurbana de la ciudad de Cuenca. Tesis de grado no publicada. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Siller, M. A., Martínez, Á. I. C., González, G. J. A., & Hernández, J. A. R. (2012). Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí.
- Yepez, D., (2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador; Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Zelaya, V. (2007). Estudio sobre Diseño Sísmico en construcciones de Adobe y su incidencia en la reducción de desastres. Tesis de grado no publicada. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.

PAGINAS WEB

Anon., 2014. construmática.com

Recuperado de: http://www.construmatica.com/construpedia/Resina_Epoxi



[Último acceso: 29 enero 2015].

ARGOS. (2013). Cascarilla de arroz. Retrieved from <http://periodicoluzverde.com/>

Chaquiñán. (04 de 06 de 2014). Plataforma Arquitectura. Recuperado el 20 de 04 de 2015, de Plataforma Arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-335942/casa-lienzo-de-barro-chaquinan>

INEC. Encuesta anual de manufactura y minería, 1998. bvsde.

Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep159/pia/pia.html>

[Último acceso: 10 04 2015].

Manufacturas Silíceas, 2000. s.l.: s.n. Recuperado de: www.siliceas.com

INFORMES

Anon., (1999). Carta del Patrimonio Vernáculo Construido. México: ICOMOS.

NORMAS

Norma Española UNE-EN 41410:2008. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

Norma Técnica de Edificación E.080:1999. Adobe.

Norma ASTM D1633-00

Norma ASTM D-422

Norma ASTM D-4318

Norma NTC 5324. Bloques de Suelo-Cemento.