



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

TITULO DE TESIS

**VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DE DOS
PLANTAS EN BASE A TAPIAL COMO UNA
ALTERNATIVA PARA EL BARRIO “MIRADOR”
SITUADA EN LA PARROQUIA DE
MALACATOS, CIUDAD DE LOJA:
MATERIALES Y ESTRUCTURAS**

**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN CIVIL Y DESARROLLO
SUSTENTABLE; MENCIÓN: VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

AUTOR: Ing. Byron Roberto Febres Torres

DIRECTOR: Ing. Mg. Sc. Jorge Enrique Gahona Pacheco

Loja, 29 de Noviembre de 2010

LOJA – ECUADOR

**INGENIERO MG. SC. JORGE ENRIQUE GAHONA PACHECO, DOCENTE
INVESTIGADOR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

CERTIFICADO:

Que el Ingeniero BYRON ROBERTO FEBRES TORRES, realizó la investigación de la tesis de Maestría “VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DE DOS PLANTAS EN BASE A TAPIAL COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL BARRIO “MIRADOR” SITUADA EN LA PARROQUIA DE MALACATOS, CIUDAD DE LOJA: MATERIALES Y ESTRUCTURAS” bajo mi dirección y asesoría y una vez cumplida su consolidación, sistematización y análisis de resultados, así como esclarecidas las observaciones e incorporadas las sugerencias, autorizo su presentación por cumplir con los requisitos exigidos para estudios de cuarto nivel por parte de la Universidad Nacional de Loja.

Loja, 29 de Noviembre de 2010

Ing. Mg. Sc. Jorge Enrique Gahona Pacheco

AUTORIA:

Las ideas y propuestas vertidas en la presente tesis de grado son responsabilidad exclusiva del autor

Ing. Byron Roberto Febres Torres

AGRADECIMIENTO

De manera muy sencilla expreso mis más sinceras gratitudes al Ing. Mg. Sc. Jorge Gahona Pacheco como mi Director de Tesis, que con su valiosa experiencia y dedicación hizo posible la realización del presente trabajo.

De la misma forma expreso un especial reconocimiento a la Universidad Nacional de Loja y al Instituto Antonio Echeverría de la Habana – Cuba, y principalmente a cada uno de los profesores de la Maestría en Construcción Civil y Desarrollo Sustentable mención: Vivienda de Interés Social por haber contribuido con convicción a mi formación académica de cuarto nivel.

Y finalmente un especial agradecimiento a mis familiares y amigos en general quienes supieron alentarme y brindarme su apoyo incondicional para lograr este importante logro dentro de mi vida profesional.

EL AUTOR

DEDICATORIA

Este importante logro obtenido en mi vida profesional se lo dedico a Dios por darme la salud necesaria, a mis Padres por darme su sabio ejemplo y han sabido guiarme por buenos caminos, a mi hija principalmente por ser la inspiración de mi vida, a mi esposa y demás amigos, quienes con su apoyo han ayudado a cumplir este importante objetivo.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DESCRIPCIÓN		Pág.
RESUMEN		1
ABSTRACT		2
INTRODUCCIÓN		3
1	CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	
1.1	<i>EL TAPIAL</i>	10
1.1.1	Generalidades	10
1.1.2	Características	13
1.1.3	Propiedades	14
1.2	<i>ESTABILIZACIÓN DEL SUELO</i>	15
1.2.1	Generalidades	15
1.2.2	Procesos Homogéneos	15
1.2.3	Procesos Heterogéneos	16
1.2.4	Consolidantes	16
1.2.5	Fibras	18
1.2.6	Hidrofugantes	19
1.2.7	Suelo Estabilizado con Cemento	20
1.3	<i>CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA</i>	21
1.4	<i>SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA TIERRA</i>	22
1.5	<i>MEZCLADO DEL SUELO CEMENTO</i>	23
1.6	<i>APISONADO Y CURADO DE LOS MUROS</i>	24
1.7	<i>TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN CON TAPIA</i>	24
1.7.1	Generalidades	24
1.7.2	Criterios de Diseño	26
1.7.3	Tecnologías	28
1.7.3.1	Tapia Pisada	30
1.8	<i>CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y ESTRUCTURALES DEL ADOBE Y TAPIAL</i>	30
1.9	<i>CUADRO DE COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES</i>	31
1.10	<i>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN MÓDULO DE TAPIAL Y TÉCNICA CONSTRUCTIVA PARA UNA VIVIENDA DE DOS PLANTAS</i>	32
1.11	<i>ALTERNATIVAS Y CONSIDERACIONES PARA EVALUAR LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS</i>	35
2	CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1	<i>MÉTODOS UTILIZADOS PARA REALIZAR UNA PROPUESTA DE DOSIFICACIÓN DEL TAPIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS.</i>	37
2.2	<i>EQUIPAMIENTO UTILIZADO</i>	37
2.3	<i>MATERIA PRIMA</i>	37
2.4	<i>OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS</i>	37
2.5	<i>DESARROLLO DE LOS ENSAYOS</i>	38
2.5.1	<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL LIMO</i>	39
2.5.2	<i>LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL LIMO</i>	40
2.5.3	<i>CLASIFICACIÓN DEL POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO</i>	41
2.5.4	<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARCILLA</i>	42
2.5.5	<i>LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA ARCILLA</i>	43
2.5.6	<i>CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO</i>	44
2.5.7	<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA</i>	45
2.5.8	<i>LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA ARENA</i>	46



ÍNDICE DE CONTENIDO

2.5.9	CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO	47
2.7	<i>ESTABILIZACIÓN DEL TAPIAL CON CEMENTO</i>	48
2.7.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	48
2.7.2	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	49
2.7.3	REPORTE DE RESULTADOS	51
3	CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1	<i>TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TAPIAL ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y REFORZADO CON BARRILLAS DE ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS</i>	52
3.1.1	Tecnologías Tradicionales	52
3.2	<i>TECNOLOGÍAS PROPUESTAS</i>	53
3.2.1	Proceso Constructivo	53
3.2.1.1	Cimentación	53
3.2.1.2	Sobrecimiento	53
3.2.1.3	Pisos	53
3.2.1.4	Muros	53
3.2.1.5	Refuerzos Internos	55
3.2.1.6	Dinteles	56
3.2.1.7	Entrepisos	57
3.2.1.8	Muros en el Nivel Superior	58
3.2.1.9	Cubierta	58
3.2.1.10	Uniones en el Estructura de la Cubierta	59
3.2.1.11	Entechado	59
3.3	<i>COMPETITIVIDAD ECONÓMICA DE LOS MUROS DE TAPIA</i>	60
3.3.1	Ventajas de la Utilización de los Muros con Tapia	60
3.3.2	Herramienta Mínima	61
3.3.3	Competitividad de un Muro de Tapia	62
4	CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	
4.1	<i>CONCLUSIONES</i>	63
5	CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES	
5.1	<i>RECOMENDACIONES</i>	65
6	CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA	
6.1	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	66
7	CAPÍTULO 7: ANEXOS	
7.1	<i>ANEXOS</i>	67



ÍNDICE DE FIGURAS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Figura 1	Estabilización por la forma	54
Figura 2	Estabilización por la forma	55
Figura 3	Refuerzos internos	55
Figura 4	Refuerzos internos	56
Figura 4.1	Refuerzos internos	57
Figura 5	Cubierta	59

ÍNDICE DE DETALLES FOTOGRÁFICOS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Fotografía 1	Barrio Mirador de la Parroquia Malacatos	38
Fotografía 2	Obtención de las muestras in-situ	38
Fotografía 3	Porcentaje de mezcla de los agregados del tapial	49
Fotografía 4	Obtención de probetas para ensayos a la compresión	49
Fotografía 5	Probeta de tapial con 6% de cemento	50
Fotografía 6	Probeta de tapial con 8% de cemento	50
Fotografía 7	Probeta de tapial con 10% de cemento	50
Fotografía 8	Ensayo a la compresión simple de las probetas de tapial	50

ÍNDICE DE TABLAS

	DESCRIPCIÓN	Pág.
Tabla 2.1	Granulometría y Curva Granulométrica del Limo	39
Tabla 2.2	Límite líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad	40
Tabla 2.3	Clasificación del Limo Método SUCS y AASHTO	41
Tabla 2.4	Granulometría y Curva Granulométrica de la Arcilla	42
Tabla 2.5	Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la Arcilla	43
Tabla 2.6	Clasificación por el Método SUCS y AASHTO de la Arcilla	44
Tabla 2.7	Análisis Granulométrico de la Arena	45
Tabla 2.8	Ensayos de Plasticidad de la Arena	46
Tabla 2.9	Clasificación por el Método SUCS y AASHTO de la Arena	47
Tabla 2.10	Tabla de Dosificación de la Mezcla	48



ÍNDICE DE LA GUÍA PRÁCTICA

	DESCRIPCIÓN	Pág.
	INTRODUCCIÓN	3
1	METODOLOGÍAS DESARROLLADAS A NIVEL LOCAL	4
2	DISEÑOS TRADICIONALES DE MUROS DE TAPIA	4
3	ESTABILIZACIÓN DEL SUELO	5
	PROCESOS HOMOGÉNEOS	5
	CONSOLIDANTES	7
	FIBRAS	8
	HIDROFUGANTES	10
	SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO	11
4	PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MURO DE TAPIA ESTABILIZADO CON CEMENTO Y REFORZADO CON VARILLAS DE ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS	13
	PROCEDIMIENTO	14
	DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA	14
	PROCESO CONSTRUCTIVO	15
	CIMENTACIÓN	15
	SOBRECIMIENTO	16
	PISOS	16
	MUROS	17
	ESTABILIZACIÓN POR LA MASA	17
	ESTABILIZACIÓN POR LA FORMA	17
	REFUERZOS INTERNOS	18
	DINTELES	20
	ENTREPISOS	20
	MUROS EN EL NIVEL SUPERIOR	22
	CUBIERTA	22
	UNIONES EN LA ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA	24
	ENTECHADO	24
5	COMPETITIVIDAD DE LOS MUROS EN TAPIA	24
6	BIBLIOGRAFÍA	28

RESUMEN

VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DE DOS PLANTAS EN BASE A TAPIAL COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL BARRIO “MIRADOR” SITUADA EN LA PARROQUIA DE MALACATOS, CIUDAD DE LOJA: MATERIALES Y ESTRUCTURAS

La técnica conocida como tapia, tapial, tapia pisada o tierra apisonada, trata de un sistema en el que la transformación del suelo y la edificación constituyen un mismo proceso, por lo que la selección de la materia prima y la organización del trabajo son piezas clave. Se tienen evidencias de construcciones de tapias desde hace milenios en regiones tan distantes como la India, China, Egipto, Siria, Líbano, Bolivia, Perú y Ecuador.

La construcción del Estado del Arte permitió observar que en el Ecuador no existen viviendas de dos Plantas construidas en base al Tapial, cuando es precisamente este tipo de vivienda la que marca el objeto fundamental de esta investigación. En consecuencia, y habiendo revisado la literatura internacional que aborda el tema objeto de estudio. En la presente investigación bajo la Hipótesis de que el conocimiento ancestral de los pobladores de la Comuna de Malacatos acerca de la construcción con tierra, las propiedades físico mecánicas de los suelos de dicha región y el ejercicio creativo en la aplicación de tecnologías apropiadas para diseñar y construir muros de tapia, hace posible que se puedan construir viviendas de dos Plantas en el País en general, y en la Comuna Malacatos en particular. Para este efecto, en la presente investigación se han propuesto modelos para el diseño estructural de muros de tapial estabilizados con cemento y reforzado con varillas de acero, mediante los cuales se pueda determinar el espesor de un muro para viviendas de dos Plantas construido con este material, de manera que admita la carga correspondiente a estas dos Plantas sin rebasar las bases de diseño de los estados límites de servicio y de resistencia. A la vez describir las tecnologías de construcción más apropiadas para ejecutar dichos muros.

ABSTRACT

HOUSING OF SOCIAL INTEREST OF TWO FLOORS BASED ON TAPIAL LIKE AN ALTERNATIVE FOR THE NEIGHBORHOOD "MIRADOR" LOCATED IN THE PARISH OF MALACATOS, LOJA CITY: MATERIALS AND STRUCTURES

The well-known technique as wall, tapial, walls footfall or rammed earth, it is about a system in which the transformation of the floor and the construction constitute oneself process, for what the selection of the matter prevails and the organization of the work is pieces key. Evidences of constructions of walls are hard for millennia in regions so distant as the India, China, Egypt, Syria, Lebanon, Bolivia, Peru and Ecuador.

The construction of the State of the Art allowed to observe that in the Ecuador housings of two built Plants don't exist based on the Tapial, when it is in fact this housing type the one that marks the fundamental object of this investigation. In consequence, and having revised the international literature that approaches the topic study object. In the present investigation under the Hypothesis that the ancestral knowledge of the residents of the Commune of Malacatos about the construction with earth, the properties physique mechanics of the floors of this region and the creative exercise in the application of appropriate technologies to design and to build wall walls, they make possible that housings of two Plants can be built in the Country in general, and in the Commune Malacatos in particular. For this effect, in the present investigation models have intended for the structural design of tapial walls stabilized with cement and reinforced with steel bar, by means of which you can determine the thickness of a wall for housings of two Plants built with this material, so that it admits the load corresponding to these two Plants without surpassing the bases of design of the states limits of service and of resistance. At the same time to describe the most appropriate construction technologies to execute this walls.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO
RENOVABLES



Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El Ecuador actualmente se encuentra anegado en un ininteligible problema social y económico que ha incidido negativamente en su desarrollo. Las inequitativas políticas de vivienda y el desempleo reflejan la imposibilidad de acceder a una vivienda propia. Por lo tanto el nivel económico de cada hogar tiene relación directa con el tipo de vivienda a la que pueden acceder.

Si bien el derecho a una vivienda digna no obliga a los gobiernos a construir viviendas para toda la población o a proporcionarlas de manera gratuita, sí los compromete a establecer medidas políticas y acciones legales para cumplir con este derecho. Los gobiernos no pueden evadir su responsabilidad en el cumplimiento de éste y otros derechos, especialmente en relación con los grupos más desfavorables.

Ante el incremento en la demanda de vivienda en nuestro país, es imprescindible que los gobiernos continúen impulsando acciones y destinen mayores recursos para la construcción de conjuntos y unidades habitacionales. La participación responsable y comprometida de grupos demandantes de vivienda es y seguirá siendo fundamental para avanzar en la respuesta a este derecho social.

El problema de la vivienda es uno de los más frecuentes en el Ecuador. Es necesario contribuir con soluciones para las problemáticas que los ecuatorianos diariamente enfrentamos. Muchos no tienen lugar en donde vivir y muchos otros viven en condiciones deplorables.

“La vivienda es uno de los componentes centrales que define el bienestar del individuo y su familia. Son múltiples y variadas las características de la vivienda que convergen para constituirse en determinantes de la calidad de vida. La vivienda es un espacio que brinda cobijo y albergue a las personas; a ella se vincula el acceso de la población a servicios básicos como agua potable, electricidad y alcantarillado frente al mundo público. La vivienda es lugar privilegiado de expresión de las relaciones íntimas y familiares, es el espacio donde se estructuran las relaciones familiares tan importantes y decisivas para los individuos como la reproducción doméstica y las relaciones de género y generacionales. Se trata también de uno de los principales bienes que conforman el patrimonio familiar y sin duda constituye uno de los rubros en los cuales las personas y las familias suelen invertir cuantiosos recursos monetarios, materiales y simbólicos. Cuestiones como las condiciones en que las personas y las familias acceden a la vivienda, el espacio disponible, la calidad de los materiales de construcción, la provisión de servicios y el medioambiente inmediato son aspectos determinantes del bienestar social. De ello se desprende que las características físicas y ambientales de la vivienda ejerzan una influencia crucial en la trayectoria de la vida de los individuos y las familias. Todos estos rasgos reafirman la importancia de este bien esencial como objeto y preocupación de las políticas de desarrollo social”¹

¹ _ <http://www.conapo.gob.mx/municipios/puebla/municipios.xls>

Desde las primeras civilizaciones se ha dedicado especial atención al tipo de sistema constructivo (tecnología) de la vivienda, al material que se emplea en ella, a los diseños que aseguren funcionalidad, etc.

En el siglo XVIII a.C., durante los imperios griego y romano, la planificación de las ciudades se centró casi exclusivamente en la localización de espacios adecuados para establecer viviendas, teniendo en cuenta el tipo de sistema constructivo. Esta misma inquietud se dio durante la edad media. En la Europa del siglo XIII, las ciudades se convirtieron en centros de intercambio comercial y sus murallas ofrecieron protección frente a los grupos de guerreros y saqueadores, las personas podían resguardarse en las ciudades amuralladas junto a sus rebaños y cosechas, mientras el exterior era invadido por los enemigos. Esto aumentó la demanda de alojamiento y durante siglos se sumaron nuevas viviendas, aunque su construcción se llevó a cabo de forma caótica.

En el siglo XIX, con la llegada de la Revolución Industrial, se produjo un desplazamiento de la población hacia las ciudades, que sufrieron un crecimiento sin precedentes. Los trabajadores vivían en cobertizos, estaciones ferroviarias y sótanos de fábricas, espacios carentes de instalaciones sanitarias o agua potable.

En la sociedad postindustrial del siglo XX, la calidad de la vivienda en los países en vías de desarrollo y en las zonas más degradadas de los países avanzados sigue siendo insuficiente y no se cubre la demanda de algunos sectores de la población. Sin embargo, dentro de las ciudades coexisten alojamientos abandonados, edificios superpoblados y funcionalmente obsoletos que, a pesar de que algunos comienzan a ser rehabilitados, no llegan a revertir la gran demanda de vivienda que en la actualidad existe.

Esta situación ilustra el complejo papel que desempeña la vivienda en la sociedad. Su función original fue proporcionar protección, seguridad y privacidad, pero hoy debe ofrecer otras ventajas adicionales como: poseer una orientación adecuada, *asegurar un ambiente digno, mejorar sus índices de durabilidad sea cual fuere el material que se emplee en su ejecución, recurrir a sistemas y tecnologías constructivas que demuestren su factibilidad y pertinencia, en fin, hacer valer los conceptos de sustentabilidad.*

En Ecuador con la llegada de los españoles recibe todo ese bagaje cultural y con él, el uso del barro crudo en la construcción de viviendas el cual tuvo una referencia importante en las culturas aborígenes, particularmente en las zonas áridas, donde la lluvia no existe o es muy limitada. En estas zonas se desarrollaron edificaciones monumentales como templos, centros funerarios, y rituales hechos de barro, donde las denominaban huacas, hechas de muros con tapial que aún perviven después de más de mil años de existencia. En las áreas tropicales de intensas lluvias, el barro crudo fue recubierto con cal y aglutinantes impermeables tales como zábila, el cardón, la tuna, que mezclados con barro y cal daban una excelente protección al muro de tapia.

En el país existe un gran número de viviendas construidas en adobe y tierra pisada (tapial). Este tipo de edificaciones, en general, son solo de una planta y no incluyen elementos de refuerzo adecuados ni se han construido con requisitos de diseño particulares.

En la ciudad de Loja, Mirador es un sitio situado en la parroquia Malacatos. Se trata de una comuna de familias autóctonas del sector que aún conserva sus raíces, sus costumbres y su religión. Los miembros de la comuna son propietarios de sus terrenos desde épocas ancestrales. Podemos observar que en este sitio, estas construcciones son solo de una planta y en la mayoría de los casos presentan un mal comportamiento ante las fuerzas inducidas por sismos moderados y terremotos lo que ha generado en otros lugares un gran número de pérdida de vidas humanas e importantes pérdidas culturales y patrimoniales. A esta situación se suma la cantidad de familias que viven dentro de una sola vivienda generando insalubridad y un mal uso en los espacios de la misma.

SITUACIÓN PROBLÉMICA

La insoslayable necesidad de reactivar los programas de construcción de viviendas para mitigar su carencia, especialmente aquellos dirigidos a los segmentos de menores ingresos económicos mediante programas de vivienda de interés social, ha determinado el propósito de estudiar diferentes alternativas de solución que presupongan al suelo como material esencial de construcción, a la vez de seleccionar aquellas tecnologías de ejecución que mejoren la aptitud del producto final: la vivienda.

El suelo ha sido y continuará siendo un material apto para la construcción de viviendas, y su empleo forma parte de la idiosincrasia de un sector nada despreciable del pueblo ecuatoriano. Se le ha usado tradicionalmente a través de diversas alternativas entre las que pueden señalarse:

- En base a Bloques de Adobe.
- En base a Bloques de Suelo-Cemento.

- En base a Bloques de Paja-Tierra.
- En base a Bloques de Madera-Cemento.
- En base a Bloques de Aserrín-Cemento.
- **En base a Muros de Tapia.**
- En base a Muros Guadua.
- En base a Paredes divisorias de Bagazo.

El suelo como material de construcción y el muro de Tapia como tecnología constructiva para mejorar los indicadores económicos, de durabilidad y confort respecto de lo que se tiene hoy cuando sea esa la alternativa, resumen la situación objeto de investigación en este Trabajo.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los parámetros y sus niveles óptimos para obtener un Tapial estabilizado a base cemento portland, con dosificaciones (relación cemento/suelo) capaz de mejorar su resistencia y obtener una tecnología de construcción más durable que demuestre pertinencia y cercanía a los hábitos de construcción que se tienen en la parroquia Malacatos, ciudad y provincia de Loja?

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Las siguientes interrogantes forman parte del problema de investigación:

- 1) ¿Qué soluciones de cimentación en cuanto a material y a tecnología resultan apropiadas para la ejecución de viviendas de dos niveles en base a tapial?
- 2) ¿Cómo lograr la continuidad estructural entre el cimientado y la estructura vertical?
- 3) ¿Pueden ser empleados los muros de Tapial como elemento estructural en viviendas de dos Plantas?
- 4) ¿Con qué tecnología deben ser ejecutados los muros de tapial para asegurar su resistencia, rigidez y durabilidad?
- 5) ¿Qué elemento estructural de transición debe darse entre el muro de tapial y el entrepiso?
- 6) ¿Qué solución en cuanto a material, estructura y tecnología puede darse al entrepiso para asegurar su función?
- 7) ¿Qué solución estructural se le puede dar al elemento de cubierta?

8) ¿Qué materiales pueden emplearse como solución del techo de la vivienda?

OBJETIVO GENERAL

Ofrecer una solución de vivienda digna que considere las costumbres de las familias campesinas a partir de un sistema constructivo que retome el uso de materiales típicos (tapial) y los métodos constructivos tradicionales, con la intención de mejorar la calidad de vida de los campesinos y rescatar la arquitectura tradicional de sus ambientes, motivando a la vez futuras intervenciones arquitectónicas que respeten las tipologías tradicionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Identificar los tipos de tecnologías de construcción con tapia como material principal desarrollados a nivel nacional o latinoamericano que serían potencialmente congruentes al entorno tradicional del barrio ubicado en la parroquia Malacatos ciudad y provincia de Loja, en relación con los parámetros estructurales y de las características de los materiales.
- 2 Identificar los parámetros o variables que intervienen en los modelos analíticos para el diseño estructural de un muro con tapia como material principal en viviendas de hasta dos plantas.
- 3 Ajustar los parámetros estructurales de materiales en cuanto a características y dosificación del estabilizador, a la vez de la tipología y dimensiones de los muros con tapia, con el fin de ofrecer un diagrama secuencial de los pasos que habría que seguir para acometer el diseño estructural de los muros con tapia para VIS de dos plantas, y sistematizar la metodología desde la perspectiva estructural y de los materiales de construcción.
- 4 Elaborar una guía práctica (Manual), para la construcción de una vivienda de dos plantas con Tapia Pisada, que ofrezca la secuencia de ejecución de manera ilustrada y descriptiva de cada una de las etapas del proceso constructivo.
- 5 Evaluar la competitividad económica de los muros con tapia.

PREMISAS O HIPÓTESIS

La construcción del Estado del Arte permitió observar que en el Ecuador no existen viviendas de dos Plantas construidas en base al Tapial, cuando es precisamente este tipo de vivienda la que marca el objeto fundamental de esta investigación. En consecuencia, y habiendo revisado la literatura internacional que aborda el tema objeto de estudio, el investigador parte de formular la siguiente Hipótesis:

“El conocimiento ancestral de los pobladores de la Comuna de Malacatos acerca de la construcción con tierra, las propiedades físico mecánicas de los suelos de dicha región y el ejercicio creativo en la aplicación de tecnologías apropiadas para diseñar y construir muros de tapial, hacen posible que se puedan construir viviendas de dos Plantas en el País en general, y en la Comuna Malacatos en particular”

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La *Introducción* presenta los antecedentes de la investigación, el objetivo general y los objetivos específicos, hipótesis, estructura del trabajo y síntesis del contenido.

El *Capítulo I* recoge información secundaria al tema a tratarse, en donde se efectúa un análisis del déficit de vivienda en el Ecuador, así como también la desfavorable tecnología utilizada para la construcción de viviendas populares, especialmente en la tecnología de muros de tapia de dos plantas.

El *Capítulo II* define cuáles son los parámetros estructurales, características y disponibilidad de materiales, que evaluarán la viabilidad de los sistemas constructivos potencialmente congruentes al entorno tradicional del barrio ubicado en la parroquia Malacatos ciudad y provincia de Loja, en relación con los parámetros estructurales y de las características de los materiales.

Se analizan los parámetros estructurales y características de los materiales que evaluarán la viabilidad de los sistemas constructivos a ser aplicados en vivienda de interés social.

También determina un proceso metodológico en base a los parámetros estructurales, características y disponibilidad de materiales que intervendrán en los modelos analíticos para el diseño estructural de un muro con tapia como material principal en viviendas de hasta dos plantas.

El Capítulo III conceptualiza los parámetros estructurales y de materiales para evaluar la viabilidad del diseño constructivo en cuanto a características y dosificación del estabilizador, a la vez de la tipología y dimensiones de los muros con tapia. En este capítulo se desarrolla un diagrama secuencial que demuestra las fases constructivas que podrán ser aplicadas para la VIS de dos plantas, y sistematizar la metodología desde la perspectiva estructural y de los materiales de construcción.

El Capítulo IV se refiere a las Conclusiones de la presente investigación.

El Capítulo V se refiere a las Recomendaciones de la presente investigación.

El Capítulo VI Bibliografía

El Capítulo VII Anexos.



1.1 EL TAPIAL

1.1.1 GENERALIDADES

La técnica conocida como tapia, tapial, tapia pisada o tierra apisonada, presenta ciertas diferencias con respecto al adobe. Se trata de un sistema en el que la transformación del suelo y la edificación constituyen un mismo proceso, por lo que la selección de la materia prima y la organización del trabajo son piezas clave.

Se tienen evidencias de construcciones de tapias desde hace milenios en regiones tan distantes como la India, China, Egipto, Siria, Líbano, Bolivia y Perú.

En China existen referencias sobre el uso de esta técnica para realizar fortificaciones y palacios desde la remota dinastía Shang, que data del periodo comprendido entre 1766 y 1045 a.C. Desde entonces se mantuvo el desarrollo del sistema constructivo cuya manifestación más potente se materializó en diversos tramos de la Gran Muralla que se edificaron entre el quinto y tercer siglo antes de nuestra era, pero cuyos 6000 km de longitud fueron completados hasta los tiempos de la dinastía Ming, entre los siglos quince y diecisiete.

La tapia también se utilizó para la construcción de las villas púnicas cuando los fenicios diseminaban su cultura a lo largo del Mediterráneo. Plinio describe este método constructivo en su Historia Natural al decir con asombro: "... qué podemos decir acerca de los muros de tierra compactada que hemos visto en Barbaria (Cartago) y en España donde se han llamado paredes moldeadas ya que la tierra es moldeada entre dos placas y no hay cemento ni mortero que sea más fuerte; las torres de vigía y murallas construidas por Aníbal en España son de tierra comprimida"¹. Se han encontrado restos en estas regiones correspondientes al año 820 a.C.

En nuestro continente destaca el caso de las ciudades andinas construidas desde el periodo Mochica, entre el siglo segundo y octavo de nuestra era, en donde se muestra un vasto desarrollo en el manejo de combinaciones de técnicas constructivas de tierra entre las que se encuentra la tapia. Este sistema sirvió para hacer canales de irrigación, basamentos de templos y murallas.

Los conquistadores españoles utilizaron masivamente la tapia en zonas rurales de nuestro continente, aunque también existen ejemplos de su manejo en estructuras tan destacadas como la antigua catedral de Santo Domingo en República Dominicana.

¹ Houben, 2001 Construcción –ladrillo y bloques cerámicos de barro, 10 p.

Sin embargo, la sistematización y difusión a escala internacional de la tapia se debe a constructores franceses durante el siglo XIX, quienes desarrollaron manuales que fueron traducidos a diversas lenguas, en donde se detallan varias alternativas de este proceso constructivo.

A diferencia de otros sistemas térreos, en la tapia la propiedad cohesiva de las arcillas se complementa con la compresión mecánica del material. Por esto, el grado de humedad del suelo se convierte en una variable crítica.

Una tierra demasiado húmeda no puede ser compactada adecuadamente, se adhiere al pisón impidiendo el trabajo y genera alteraciones o deformaciones en las estructuras a lo largo de la fase de secado. Sin embargo, un material demasiado seco tampoco va a funcionar aunque se compacte de modo correcto. Se necesita una proporción de agua suficiente para activar las arcillas y propiciar su acción aglutinante².

La tierra no pasa por el proceso de “dormido” que se requiere para construir con adobes, porque éste lleva al barro a un estado plástico que no funciona para hacer tapias. Se recomienda el uso de suelo recientemente extraído de su fuente, para que mantenga parte de su humedad natural.

De no poderse dar esto, es posible humedecerlo ligeramente con una regadera antes de proceder a su compactación. Sin que se trate de una regla estricta, normalmente los rangos de humedad que se requieren para la realización de tapias giran en torno a un valor de 10%.

Se puede hacer una simple prueba durante la marcha, para determinar qué tan lista está una tierra para usarse. Primero se debe ver húmeda pero no empapada. Se debe poder apretar fácilmente, a mano, un puñado de la tierra hasta formar una bola firme. En esta prueba, una tierra con un contenido de humedad demasiado alto se sentirá pegajosa y no formará una bola firme y sólida al apretarla. Por otra parte, si hay poca presencia de humedad, la tierra no se compactará ni permanecerá ligada en absoluto. La bola de tierra exitosamente compacta será firme y sólida, no dura o pegajosa.

La tierra compactada a mano se puede dejar caer sobre una superficie firme desde una distancia de aproximadamente un metro. Si la bola se rompe, el contenido de humedad es adecuado, si no, hay demasiada humedad presente³.

Existen muchas maneras de realizar muros de tapial, aunque la diferencia básica entre cada método está en función de las características de la cimbra o encofrado que se utiliza. Normalmente estos moldes hechos de madera mediante tabloncillos reforzados por barrotes, miden

² Doat, 1996 Construcciones con Barro 111 p.

³ Mc Henry, 1996 La Vivienda, Tradición y Modernidad, 112 p.

entre 1.5 y 2.5 metros de largo por 80 centímetros de alto y 45 de ancho. Sin embargo, al igual que sucede con los adobes, estas dimensiones varían dependiendo de las tradiciones locales.

Los dos procedimientos básicos de construcción en que se puede dividir esta técnica, se diferencian en la manera de soportar y desplazar las cimbras. En el primero, se fijan mediante una serie de estacas clavadas en el suelo que son reforzadas por puntales y horcones atados en la parte superior para evitar su separación, y con barrotes transversales en el interior, con el objeto de mantener un grosor uniforme del muro. En el segundo procedimiento, el cajón queda libre para ser desplazado y se soporta por su propio peso mediante travesaños a los cimientos o a la hilada de tapias ya terminada.

Los muros se levantan sobre una cimentación de piedra, ladrillo u hormigón fijando la cimbra a partir de una esquina de la construcción y verificando el plomo y nivel de sus paños. Se recomienda que antes de echar la primera capa de tierra se extienda un poco del mortero utilizado en la cimentación para nivelar su corona y evitar que al comenzar a compactar se salga la tierra entre las juntas.

Posteriormente el pisador entra en la cimbra y recibe baldes con tierra que extiende con los pies para proceder a compactarla en capas de 15 a 25 cm de espesor. El pisón tradicional se hace con una madera dura pero que no sea demasiado pesada, pues lo que se requiere en el apisonado no es fuerza sino uniformidad. Es importante que los golpes de pisón comiencen en los bordes del muro, al paño de la cimbra y continúen hacia su centro pero procurando pegar en todos sentidos para lograr una presión homogénea.

Después de repetir esta operación hasta llenar la cimbra, ésta se desarma para colocarla a continuación del bloque recién concluido para lograr una adecuada unión en las piezas. Se verifica nuevamente el plomo y nivel y se repite la operación de llenado y compactación por capas, hasta cerrar el perímetro de la primera “hilada” de la construcción. En ese momento el secado del material será suficiente como para que soporte el peso de los obreros, la cimbra y la siguiente hilada que se elabora repitiendo el procedimiento, con una nueva serie encima de la anterior, hasta completar la altura de muro requerida⁴.

Resulta fundamental que las juntas verticales entre los bloques no coincidan con las de la hilada ya terminada, por lo que se debe desplazar hasta la mitad de la pieza inferior, bajo la misma lógica de traslape de todo tipo de mamposterías.

La instalación para puertas y ventanas se debe prever antes de la colocación de las hiladas de tapias, buscando el respeto a la modulación de las piezas. Una vez que se han concluido los

muros es posible construir la techumbre que, debido a la capacidad de carga del sistema, bien puede ser resuelta con viguería, bóvedas, en techo plano, con una o más vertientes, dependiendo de las condiciones climáticas locales.

Vale la pena mencionar finalmente que estudios de resistencia de materiales realizados en años recientes, han demostrado que los muros de tapia soportan en promedio un 40% más esfuerzos de compresión, tensión y cortante que aquellos edificados con base en mampostería de adobe, los cuales, a pesar de su frecuente uso y difusión en todo el mundo, llegan a desarrollar fallas estructurales debido a la falta de homogeneidad entre las piezas y el mortero que las une⁵.

Todas las propuestas realizadas por el hombre para resolver las tecnologías aplicadas a la vivienda desde tiempos ancestrales han sido producto absoluto de la necesidad. Esta tecnología se realiza con la mínima energía con el mínimo peso, con el mínimo de materiales, no existe en absoluto despilfarro. Son lecciones aprendidas casi siempre de los procesos de la naturaleza donde todo está hecho a la justa medida al tamaño óptimo, solo lo necesario⁶.

El tapial es una antigua técnica que consiste en construir muros con tierra arcillosa que se compacta a golpes, mediante un "pisón", empleando encofrados de madera para contenerla, y se deseca al Sol, muy usado en la edificación de viviendas de interés social en Latinoamérica, específicamente en Perú, Bolivia y Ecuador debido a la rapidez de su construcción y a su bajo costo. Sin embargo las mismas también presentan vulnerabilidad ante los sismos debido a su gran masa, fisuras producidas por la contracción de secado y debilidad de sus juntas de construcción. En esta técnica los muros se construyen compactando capas de tierra húmeda dentro de un encofrado. La ventaja que tiene el tapial sobre el adobe es que permite levantar directamente los muros in situ, sin requerir de fabricación previa de los elementos constitutivos. Sin embargo, esta tecnología no facilita la autoconstrucción, ya que requiere mano de obra especializada.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS

El tapial transpira, como el adobe, es higroscópico y tiene capacidad de difusión; también posee buena capacidad para almacenar frío o calor, siendo buen aislante, y tiene una baja dilatación térmica, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de 56 decibelios en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz. Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento.

⁴ Easton, 1996 Reforzamiento Sismo-resistente de viviendas de adobe 140-141 p.

Es semejante al adobe, en cuanto a la composición del material (tierra con algún aditivo, como paja o crin de caballo, para estabilizarlo o pequeñas piedras para conseguir un resultado más resistente) pero se distingue en el modo de hacer la fábrica. Los muros se levantan por tongadas de tierra húmeda entre unos maderos o tablas que forman un encofrado, al modo del hormigón en masa, apisonando cada tongada con un pisón.

No vale cualquier tipo de tierra para construir tapias y, para mejorarlas generalmente se le añade los áridos para aumentar la maleabilidad de la tierra y cal para añadirle propiedades ligeramente hidrófugas y mejorar la resistencia de los muros (tapia real). Hay también que hacer análisis del suelo que se va a utilizar, es necesario definir las proporciones de arena, arcilla y la cantidad de sílice que hay es este último elemento

En ocasiones se le añaden cañas o palos dispuestos de cierta manera en el interior de los muros para que aumente la resistencia manteniendo la "elasticidad" de la construcción sin añadir peso.

En muchas construcciones podemos observar pequeños orificios prácticamente verticales en las paredes de tapial cuyo fin es evacuar el agua en caso de lluvia o humedades extremas.

Para asegurar la estabilidad de la obra una vez terminada, es conveniente utilizar tierra que haya estado un año removida y expuesta a la intemperie.

En algunos lugares se usa el tapial únicamente para la parte baja de la casa, debido a la dificultad de subir la tierra a cierta altura, quedando los muros de los pisos superiores de adobe.

Debido a que el tapial tiende a absorber agua, a menudo es conveniente disponer la tapia sobre un basamento de material hidrófugo, normalmente piedra, para evitar la degradación rápida en esa zona clave para la estabilidad.

Entre las características físicas del tapial cabe destacar tiene una baja dilatación térmica, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de 56 decibelios en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz. Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento. A menudo podemos comprobar la dificultad que supone picar en las paredes de las casas de nuestros pueblos, a pesar de la aparente fragilidad que a simple vista puede representar.

⁵ Vargas, 1993 Construcciones naturales con barro 507 p.

⁶ Vargas, 1993 Construcciones naturales con barro 517 p.

1.1.3 PROPIEDADES

Las construcciones llevadas a cabo con esta técnica tienen propiedades bioclimáticas ya que hacen "efecto botijo" o "vasija de barro", manteniendo una temperatura relativamente estable en su interior durante todo el año, tanto en verano con calor extremo, como en invierno con un frío intenso. En los trópicos la temperatura media del año es de unos 25° C, independientemente de las temperaturas externas.

1.2 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

1.2.1 GENERALIDADES

Cuando se han llevado a cabo ensayos con las tierras que se pretende utilizar para construir y sus características no resultan apropiadas, pero tampoco se cuenta con otras fuentes cercanas de obtención, entonces es posible emprender acciones para su mejoramiento a través de lo que se conoce como procesos de estabilización.

Se trata de métodos que a través de siglos de experiencia han permitido la alteración de la respuesta constructiva de la tierra mediante el agregado de componentes adicionales que subsanan su posible vulnerabilidad. Además, estas técnicas pueden dar un beneficio adicional al incrementar las capacidades de suelos cuyas relaciones granulométricas sean de por sí adecuadas⁷.

Por cuestiones didácticas en este texto se han agrupado los métodos de estabilización dentro de dos conjuntos, en función del origen de los materiales que se agregan y de su interrelación con el suelo original. Se trata de los procesos denominados homogéneos y los heterogéneos.

1.2.2 PROCESOS HOMOGÉNEOS

Los métodos de estabilización de tipo homogéneo consisten en la modificación de las proporciones relativas de la granulometría natural del suelo a través de agregado de los componentes deficitarios.

En un extremo, se presenta por ejemplo el caso de un tipo de tierra considerada inerte, lo que se evidencia en su falta de cohesión y su desmoronamiento al presionarla entre las manos. Esta condición se puede deber a que las arcillas que contiene son muy inactivas, o que resultan proporcionalmente escasas en comparación con la cantidad de limo y arena del conjunto.

⁷ Guerrero, 1994 Metodologías en construcción con barro 23,75 p.

Para lograr un equilibrio en este caso, se puede estabilizar el suelo agregando una mayor cantidad de arcilla hasta lograr su acondicionamiento óptimo.

En el polo opuesto, se presenta un tipo de suelo excesivamente inestable, lo que se evidencia por la aparición de fisuramientos durante el secado, como consecuencia de las fuertes modificaciones derivadas del hinchamiento y la retracción volumétrica. Esta condición se puede deber a que el tipo de arcilla que contiene es muy activo o a que posee demasiada arcilla en comparación con la cantidad de limo y arena.

Para lograr un equilibrio en este caso lo que puede hacerse es estabilizarla agregando estas últimas cargas para obtener una reacción estable del conjunto.

En ambos métodos la estabilización se debe realizar mediante la adición en seco del material estabilizante y, como se explicó anteriormente, se hace necesario desarrollar series de pruebas a partir de modelos de aplicación para determinar las proporciones óptimas.

En la medida de lo posible se ha de procurar que los materiales incorporados sean semejantes a los del suelo natural, hecho que se evidencia con la simple observación de su textura y color.

Los procedimientos son sumamente sencillos y económicos, y los resultados son muy evidentes casi de manera instantánea a través de la verificación del aminoramiento de los fenómenos de agrietamiento derivado de la retracción o del desmoronamiento después del secado.

1.2.3 PROCESOS HETEROGÉNEOS

Los métodos de estabilización de tipo heterogéneo consisten en agregar al suelo componentes ajenos a su condición natural, los cuales le confieren propiedades estables ante la presencia del agua. Estos procesos se pueden dividir en tres subgrupos en función de su forma de actuación sobre el suelo: los estabilizantes por consolidación, los estabilizantes por fricción y los estabilizantes por impermeabilización.

1.2.4 CONSOLIDANTES

Los estabilizantes por consolidación proporcionan ayuda a las arcillas en la acción aglutinante que ejercen sobre las partículas inertes del suelo. Es decir, forman cadenas con los limos y arenas para mantenerlas unidas, con lo que se complementa el trabajo de las arcillas.

El mejor estabilizante por consolidación con que se cuenta y cuya eficacia ha sido probada a lo largo de los siglos en todo el mundo, es la cal.

Como es sabido, durante el proceso natural de carbonatación de esta sustancia, que se denomina químicamente hidróxido de calcio, sirve de liga a las partículas del suelo aumentando su resistencia a la compresión y cortante, además de disminuir sus niveles de absorción hídrica y, por lo tanto, su posible retracción al secado.

La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la porosidad de la tierra, con lo que se mantiene tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos como su virtud de permitir el intercambio de aire y vapor de agua con el medio ambiente, que la hacen funcionar como un sistema natural de control higrotérmico.

Es importante hacer notar que se requiere muy poca cantidad de cal para estos procesos.

Se ha comprobado que agregar volúmenes excesivos no incrementa la resistencia del material resultante e incluso puede generar efectos imprevistos al inhibirse la forma natural de trabajo de las arcillas.

En una serie de estudios llevados a cabo en la Universidad Federal de Bahía con miras a determinar el efecto de la composición mineralógica de las arcillas dentro de sistemas compactados de suelo-cal, se han logrado establecer interesantes comparaciones entre tipos de mezclas con distribuciones granulométricas similares. En esas investigaciones se desarrollaron diversos ensayos con probetas en las que se agregaron como estabilizantes fracciones de cal que variaban entre 0 y 12%.

Entre los resultados obtenidos destaca el hecho de que, para determinados tipos de suelos, se pudieron obtener incrementos en la resistencia de la compresión simple que pasó de 6 hasta 15 kg/cm². Además se puso en evidencia la disminución de la contracción de las mezclas debido al secado, así como la limitación en la acumulación de agua. Las mejores respuestas se consiguieron agregando solamente entre 4 y 8% de cal (Hoffman, 2002, p. 72).

Por otra parte, existe un sinnúmero de sustancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglutinantes y que incluso se han aplicado en paralelo al uso de hidróxido de calcio a lo largo de la historia. Este es el caso de los polímeros extraídos de vegetales como las cactáceas o las suculentas, así como las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo.

Estos productos se han utilizado desde tiempo inmemorial, pero debido a la escasez de información documental y de trabajos experimentales en su aplicación, es difícil proponer su manejo en sitios donde la tradición que les dio origen se ha perdido o nunca existió.

En el caso de México y Perú todavía pervive la costumbre de usar la pulpa del cactus de tuna – baba de nopal– que desde la época prehispánica formaba parte de los adhesivos tanto para el manejo de la tierra utilizada como material constructivo como para el caso de los revoques y pinturas a la cal.

1.2.5 FIBRAS

Los estabilizantes por fricción sirven para conformar una especie de “red” a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Asimismo, modifican los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de microfisuras que no afectan la estabilidad del conjunto.

Esta “red” se desarrolla mediante la introducción de materiales fibrosos que pueden ser de origen vegetal como es el caso de la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal. También existen sitios en los que históricamente se han empleado materiales de origen animal provenientes de la lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano.

Igualmente, existe una tradición muy difundida de utilizar estiércol de caprinos, camélidos, bovinos o equinos, argumentando que estos materiales mejoran la maleabilidad y adherencia de las mezclas. Sin embargo, su principal función desde la perspectiva de la estabilización radica en la incorporación de fibras vegetales que han sido trituradas por el ganado y que son de fácil obtención en los sitios rurales.

Es importante hacer notar que las fibras han de utilizarse en condiciones secas ya que de lo contrario se corre el riesgo de que se pudran con lo que, además de disminuir todas sus cualidades, son causa de deterioros posteriores en las estructuras por los microorganismos que generan.

Desde luego que la elección de la fibra va a depender de la disponibilidad regional. En este sentido, la que mayor difusión ha alcanzado por su extensivo uso en el medio rural es la paja, principalmente de trigo o arroz.

Este material ha sido estudiado con bastante rigor y se ha puesto en evidencia que presenta amplias cualidades de durabilidad, plasticidad y resistencia. Se recomienda utilizar paja cortada en tramos de aproximadamente 10 cm de longitud y en una proporción de alrededor de 1% en peso, lo que significa una relación de un volumen de paja por dos de tierra, ambas en estado seco y sin comprimir. Lógicamente, la dimensión de la paja va a variar según la especie de gramínea de la que procede, el proceso agrícola que la produce en cada región y la tradición constructiva local.

La paja o cualquier otra fibra que se utilice para estabilizar la tierra, cumple su función principal en el momento de la elaboración de elementos constructivos, que es cuando se busca evitar la aparición de fisuras. No obstante, estos agregados siguen trabajando en los edificios con el paso del tiempo, al funcionar como “articulaciones” que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos.

Asimismo, las fibras modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incrementa notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos.

1.2.6 HIDROFUGANTES

Los estabilizantes por impermeabilización tienen la función de conformar una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regula su contacto con el agua y, por lo tanto, las consecuencias de sus cambios dimensionales.

Las sustancias que históricamente han mostrado mejores resultados como “repelentes” son las grasas tanto de origen animal como vegetal o fósil, según la disponibilidad regional. Las grasas animales que se han documentado son el sebo de res y la leche, las de origen vegetal son los aceites de girasol, linaza y oliva, y finalmente, los materiales bituminosos como el asfalto.

Al igual que sucede con el resto de los estabilizantes, la cantidad que se utilice debe ser muy moderada para que no se interfiera el comportamiento normal de las arcillas. Por ejemplo, si se agregara demasiado impermeabilizante en una mezcla de barro, las arcillas no se activarían y dejarían de funcionar como aglomerante del conjunto.

Para el caso del aceite de linaza y del asfalto –conocido comercialmente como rc-250 o rc2– existen especificaciones que consideran que una proporción de 0.5 a 2% en peso de la tierra seca funciona bastante bien para la mayoría de los suelos. Sin embargo, debemos insistir en que estos datos, al igual que las relaciones “óptimas” de arcillas, no deben ser tomados como “receta”.

Simplemente se trata de parámetros que pueden servir como referencia, pero es indispensable hacer los ensayos necesarios en función del tipo de suelo con el que se vaya a trabajar.

Estos tipos de estabilizante se suelen utilizar a temperatura ambiente haciendo una emulsión en el agua que posteriormente se adicionará para hidratar el barro. Es obvio decir que entre más eficiente sea el mezclado, los resultados serán más homogéneos y duraderos.

Finalmente, hay que recordar que la tradición constructiva ha demostrado que estos sistemas de estabilización pueden ser utilizados de forma aislada o en conjunto, por lo que, si se manejan en las proporciones adecuadas, son plenamente compatibles.

Cuando se decida utilizar fibras además de las grasas, cal o mucílagos, es importante realizar la mezcla con estas sustancias primero y posteriormente agregar las fibras, para evitar que se adhieran a ellas y lograr además una distribución adecuada.

También sucede que una misma sustancia estabilizante puede cumplir varias funciones de manera simultánea, como en caso del mucílago de tuna o el hidróxido de calcio que, aparte de servir como adhesivos y fluidizantes de las mezclas, evitan en cierta medida la penetración de la humedad.

1.2.7 SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

El suelo cemento no es otra cosa que tierra apisonada a la que se le ha agregado una pequeña cantidad de cemento, alrededor del 10%. El cemento le aporta a la tierra un aumento de su resistencia y una reducción de la contracción. El porcentaje de cemento puede variar entre el 7 al 12% dependiendo del tipo de suelo. Entre las características del producto ya curado (tiempo fragüe cemento) se le exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad.

Según como se mire, al suelo cemento se lo puede considerar como una tierra apisonada resistente o como un hormigón débil. En los '40 surge un gran interés por esta técnica constructiva, en especial a partir de las viviendas construidas en Lawrence, Kansas, en 1942.

Algunos de estos edificios se levantaron con muros compactos o con bloques fabricados a mano o con unas sencillas máquinas de autoconstrucción. Ese mismo año la Portland Cement Association (PCA) realizó un profundo estudio de los usos y propiedades del suelo cemento. Este trabajo es todo un clásico en la materia y sigue siendo uno de los mejores materiales de consulta.

La PCA buscó determinar cuál era la mejor proporción de cemento para preparar las mezclas y cómo resolver los distintos problemas que podrían presentarse. De los miles de experimentos realizados para comprobar la resistencia del material terminado y una media docena de propiedades físicas del suelo cemento, es particularmente interesante la relativa al aislamiento térmico. La PCA descubrió que Una pared de 20 cm de espesor de suelo cemento equivale a una pared de ladrillos de 30 cm de espesor. Sin embargo, hacer muros más gruesos no es el camino para aumentar el aislamiento térmico en zonas muy frías, ya que el valor aislante decrece a medida que aumenta la densidad de la tierra apisonada. Lo mejor en este caso es construir muros con paredes dobles dejando una cámara de aire en el centro.

La tierra aunque no posee una gran capacidad de aislamiento tiene una característica interesante: El calor no pasa por los muros de tierra con tanta rapidez como lo hace con otros materiales de construcción de uso común. Esto da como resultado que la casa se mantiene notablemente fresca durante el día. Lógicamente, los muros también tardarán más en enfriarse durante la noche. Pero a los moradores de la casa esto parece afectarles menos que tener que soportar altas temperaturas durante el día. Esta inercia térmica puede contrarrestarse si la casa tiene ventanas enfrentadas que permitan una buena circulación del aire más fresco de la noche. Por otra parte, en los climas donde hay una drástica diferencia de temperatura entre el día y la noche, el problema no existe, tan como puede comprobarse en las casas de tierra en la ciudad de Shibam (Yemen), en Egipto o Nuevo México.

El Instituto del Cemento Portland Argentino tiene una serie de recomendaciones de lectura obligada para quienes quieran trabajar con este material. Es importante saber que el suelo cemento tiene baja resistencia a la flexión, a la tracción y el corte en seco por lo que no debe ser sometida a cargas excéntricas como las que se presentan en el apoyo de dinteles pesados. Por eso, para las aberturas se aconseja la construcción de dinteles de hormigón armado.

El suelo cemento es resistente a la humedad, y por lo general bastará una lechada de cemento portland como terminación de las paredes para conferirle una considerable protección. En zonas más inclementes será necesario un revoque exterior y un alero con suficiente vuelo para evitar

una excesiva exposición a las lluvias. El peso del suelo cemento varía, de acuerdo al tipo de tierra entre 1500 y 2000 kg por metro cúbico.

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Es una mezcla de tierra tamizada (abertura de 0,5 cm aproximadamente), arena común y cemento Portland, de modo que la relación volumétrica entre los primeros dos sea 2:1.

La dosis de cemento se calcula como porcentaje en peso del material seco. La humedad de la tierra durante el apisonamiento puede ser del 18 % base húmeda.

La combinación ideal es⁸:

- 70-80% de arena.
- 20 a 30% de limo.
- 5 a 10% de arcilla.

La humedad debe ser similar a la que tenía el suelo antes de ser excavado, entre el 8 y 16%. La forma práctica para ver si ya posee la consistencia adecuada consiste en tomar una porción de material en la mano y apretarla. Debe cohesionarse sin ensuciar la palma de la mano y se puede partir en dos.

Si los suelos son muy arenosos van a requerir la incorporación de más cemento y a los arcillosos hay que agregarles arena. Los suelos limosos con un 50 % de arena se estabilizan con un 10% de cemento.

La humedad debe ser similar a la que tenía el suelo antes de ser excavado, entre el 8 y 16%. Una forma práctica de comprobarlo es apretar una porción de material en la mano. Debe cohesionarse sin ensuciar la palma de la mano y se puede partir en dos⁹.

1.4 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA TIERRA

Los ensayos y la selección de la tierra para preparar suelo cemento es la misma que para otras tierras apisonadas simples, pero se debe tener especial cuidado de que la tierra esté bien

⁸ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

⁹ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

pulverizada para que se ponga en contacto con el cemento. De lo contrario, quedarán terrones sin mezclar debilitando la construcción o que se lavarán con las lluvias de encontrarse en la parte externa del muro.

Los terrones se pueden romper con medios mecánicos simples como un rastrillo de huerta, o mecánicos como una rastra a disco. Si el resultado no fuera completo se puede pasar la tierra por una zaranda con malla de 18 milímetros de paso.

Para mezclar lo mejor es una hormigonera, sino hay un procedimiento muy simple: se calculan las proporciones de tierra y cemento, se colocan en seco en una sola pila y con una pala se va extrayendo el material armando una nueva pila. Se repite hasta que el cemento le otorgue a la mezcla un color uniforme.

En cuanto al porcentaje de cemento puede oscilar entre el 6 y 10 % del volumen total de la mezcla compactada (ver más adelante mezclado del suelo cemento). Se aconseja por razones de economía, seguridad y experiencia, preparar algunos bloques para realizar ensayos de resistencia con cemento al 6, 8 y 10%. Los bloques pueden tener un tamaño de 15 X 30 X 35 cm. Sólo a los efectos del ensayo, se somete los bloques a un curado húmedo (cubiertos con una arpillera mojada) durante una semana, descubiertos a la sombra durante 15 días y a pleno sol por otra semana. Durante todo este tiempo hay que proteger los bloques de la lluvia para que los resultados del ensayo puedan ser comparables con otros¹⁰.

Finalizada esta etapa viene la prueba propiamente dicha. Para ello se sumergen en agua los bloques unas tres horas y se dejan secar un poco. Se comienza a ensayar con el bloque con 6% de cemento. Primero se observa si se han producido rajaduras o descortezamientos importantes en el bloque (si fuera así queda descartado). Luego, se golpea el bloque con pica hielo de punta afilada (no tiene que penetrar más de 6 mm. Por último, se rompe el bloque por la mitad. Si se disgrega el bloque no es apto. Si el bloque no pasa la prueba se continúa con el siguiente hasta encontrar un resultado satisfactorio.

1.5 MEZCLADO DEL SUELO CEMENTO

La proporción de cemento mide con relación al volumen total de los muros terminados (en fresco), y no según el volumen de la tierra suelta. Para cumplir con este requerimiento y facilitar el trabajo de medición, se calcula que cantidad de tierra se necesita, por ejemplo, para preparar un metro cúbico de material; esto determinará las proporciones futuras. Dado que el cemento

¹⁰ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

ocupa una pequeña parte del total no se tendrá en cuenta. Supongamos que se necesitan 30 medidas de tierra para que una vez mezclada con el agua y apisonada dé como resultado un material como para llenar un recipiente del tamaño de un cajón de frutas. Se cuentan cuantas medidas se pueden llenar con el material terminado. Supongamos para redondear que fueran 25 medidas, para fabricar suelo cemento con el 10% de cemento se requerirán 2 ½ medidas de cemento por cada 30 de tierra suelta. De aquí en más esta será la proporción que se empleará (en el caso de cemento al 10%).

La preparación de la mezcla para levantar las paredes se hará con una hormigonera o traspasando de una pila de componente a otra, tal como se explicó antes. Conviene preparar sólo lo que se va a apisonar para no desperdiciar material. Si hubiera una demora se puede posponer un poco el fraguado moviendo la mezcla – ya húmeda- con la pala, pero si la demora fuera de algunas horas, el cemento pierde efectividad, por lo que habrá que volverle a ponerle nuevamente cemento en la misma proporción elegida.

1.6 APISONADO Y CURADO DE LOS MUROS

Los muros de suelo cemento se apisonan de la misma forma que los de tierra simple, pero deben mantenerse húmedos por lo menos una semana, ya que, al igual que el hormigón, requieren no estar completamente secos antes de que complete su curado para evitar que un secado rápido produzca resquebrajadura o desmoronamientos a causa de la contracción. Para ello se moja dos o más veces por día (según la temperatura) con una manguera con un aspersor de lluvia fina. Como es poco probable terminar un muro en un día, cuando se continúa el trabajo sobre una sección incompleta debe mojarse su superficie y rasparla con rastrillo o garra de jardinería para romper la capa seca.

1.7 TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN CON TAPIA

1.7.1 GENERALIDADES

Como ya se ha mencionado, la arquitectura de tierra ha estado presente en los asentamientos humanos localizados en diversas latitudes, desde las etapas más primitivas hasta las más complejas del desarrollo de la cultura.

En función de este desarrollo, así como de los recursos existentes en cada localidad, se generaron técnicas constructivas que emplearon la tierra con diversos grados de exclusividad y en combinación con otros materiales, para configurar lo que se conoce como sistemas constructivos.

El hecho de que muchas de estas técnicas se encuentren aún vigentes y que hayan permanecido prácticamente inalteradas con el paso de los siglos, es una muestra fehaciente de su capacidad para resolver los problemas de habitabilidad de importantes sectores de la sociedad.

La evolución tecnológica se ha basado en el equilibrio entre la satisfacción de las necesidades sociales y la previsión de las condiciones de riesgo de los edificios.

Son muchos los factores que han incidido en el perfeccionamiento o abandono de diversas técnicas constructivas entre los que se encuentran las formas de organización comunitaria, la disponibilidad de recursos naturales, los sistemas de división del trabajo, los intercambios comerciales y la geografía local, entre otros. Sin embargo, los sismos y el agua son los principales agentes de vulnerabilidad de las estructuras térreas, por lo que la búsqueda de resistencia a sus embates en gran medida ha guiado la generación de respuestas formales, materiales y dimensionales.

Una constante en el desarrollo de los sistemas constructivos de tierra es la conciencia de sus limitaciones en cuanto a sus capacidades de carga, las cuales han conducido a lo que se conoce como el funcionamiento “orgánico” de las estructuras.

Habida cuenta de la fragilidad de las piezas de tierra que trabajan de manera aislada, las técnicas edilicias han buscado la manera de desarrollar formas, dimensiones y acomodos que interrelacionen todos los componentes constructivos para que “colaboren” unos con otros.

Los edificios térreos se comportan como un sistema complejo en el que cada uno de sus componentes tiene su razón de ser y que si llegan a presentar alteraciones, el equilibrio del sistema se perturba en su totalidad. Por ejemplo, si determinada sección de un entresuelo empieza a sufrir una concentración puntual de cargas, es muy posible que el sobrepeso rebase la capacidad del material en el punto en cuestión y paulatinamente lo disgregue. Entonces el desequilibrio se incrementa y empieza a afectar al resto de la estructura que, aunque normalmente se va adaptando a estas alteraciones por la flexibilidad del conjunto, llega un momento en que se sobrepasan los límites de adecuación y los inmuebles se colapsan¹¹.

Por esta razón son fundamentales el análisis y conocimiento no sólo de los componentes específicos de las estructuras sino, sobre todo, de las relaciones que normalmente mantienen y para las que históricamente fueron diseñados y probados generación tras generación. De poco sirve, por ejemplo, tener adobes prensados, bien dosificados y con capacidades de carga superiores a los 50 kg/cm², si la presión con la que se hicieron les cierra los poros y les

¹¹ Guerrero, 1994 Metodologías en construcción con barro 7-8 p

disminuye su capacidad de adherirse a los morteros de asiento, de modo que se debilita el muro como conjunto.

Se requiere tener, en este caso, un rango que permita conciliar resistencia con adherencia óptima.

Algo parecido sucede cuando se elaboran tapias bien moduladas con respecto a la localización de puertas y ventanas, pero cuyas dimensiones no permiten el trabado apropiado de las esquinas de las habitaciones y las cargas no se transmiten adecuadamente.

De ahí la necesidad de conocer tanto la caracterización física de los materiales constructivos, como el origen tradicional de su localización, tamaño e interrelación con otros componentes.

1.7.2 CRITERIOS DE DISEÑO

La edificación con tierra sigue la misma lógica que la mayoría de los sistemas constructivos convencionales; empero, requiere una serie de cuidados adicionales derivados de la menor resistencia física de sus componentes y su vulnerabilidad ante el agua.

El primer elemento para considerar, y que para el caso de zonas sísmicas se vuelve crítico, es la geometría en planta de los edificios. Lo más recomendable es generar un diseño con formas regulares, a través del equilibrio en la suma de las longitudes de los muros en cada una de las direcciones ortogonales. Una planta ideal sería la cuadrada o lo más aproximado a ella, de manera que se reduzca el riesgo a la torsión que caracteriza los efectos telúricos sobre las estructuras.

Los edificios compactos, que contienen suficientes muros divisorios en sus locales y con el menor número de posibles concentraciones de cargas, funcionan muy adecuadamente para cualquier técnica constructiva con tierra.

Es importante que los vanos para puertas y ventanas sean pequeños y estén distribuidos de manera armónica en los locales. Además, los dinteles de estos elementos deben tener un empotramiento lo suficientemente largo como para que los empujes se repartan en la mayor superficie posible, a fin de evitar la sobrecarga de las jambas.

Se debe favorecer un arriostre continuo entre los muros, para que se apoyen orgánicamente entre ellos. La simetría en la composición de llenos y vacíos garantiza el comportamiento equilibrado de los empujes, independientemente de la dirección de los posibles esfuerzos no previstos.

Resulta muy conveniente incluir mochetas o pilastras en las esquinas, en los cruces entre muros y en sus remates. Estos componentes sirven como refuerzos en los puntos que regularmente son los más afectados por empujes laterales, hundimientos diferenciales o fallas por cortante debidas a sobrecargas verticales.

Para los muros de adobe o tapial se han de tomar medidas de previsión sismo-resistente, como puede ser la introducción de cañas verticales en todo lo alto del muro ancladas en la cimentación y coronamiento. Estos elementos se complementan con cañas o escalerillas de madera horizontales colocadas entre varias hiladas y que se unen a las cañas verticales para formar una retícula que le confiere flexibilidad al conjunto¹².

En la medida de lo posible, habrá que buscar opciones de cubiertas y entrepisos que sean ligeras, pero que posean la resistencia suficiente para ayudar a ligar los muros. Es indispensable que los esfuerzos de estos elementos sean transmitidos de manera uniformemente repartida hacia el coronamiento de los muros. La concentración de cargas se puede evitar mediante el uso de soleras, collares o cadenas de arrastre que tradicionalmente se han hecho a base de tablones, escalerillas o vigas de madera colocadas sobre las hiladas finales de las paredes.

Estos elementos se deben ensamblar adecuadamente en las esquinas para que se conforme un anillo continuo que confine la parte alta de los muros y desarrolle el comportamiento diafragmático de los componentes horizontales de los edificios.

En lo que se refiere a la vulnerabilidad ante la humedad, resulta fundamental tomar todas las precauciones necesarias para evitar la lluvia, la ascensión capilar y las posibles fugas en las instalaciones. En las zonas lluviosas se debe procurar el diseño de techos con aleros que tengan la extensión suficiente como para proteger del impacto directo de la lluvia en la mayor superficie posible de los muros.

Por otra parte, se debe considerar que la corona de la cimentación sobresalga del terreno natural para permitir que la base del muro esté aislada de la absorción de la humedad freática, permanezca ventilada y se evite además el desgaste por las posibles corrientes de agua superficial, así como la erosión que se deriva de las salpicaduras o de la lluvia. Estos zócalos o sobrecimientos han de tener por lo menos una altura de 30 cm y serán monolíticos con la cimentación.

Finalmente, es necesario hablar de la protección superficial de los inmuebles que, al igual que sucede con la piel de muchos seres vivos, además de darles protección ante los efectos del medio ambiente, les sirve para mantener su equilibrio higrotérmico.

Los recubrimientos de muros que mejores resultados han presentado debido a su compatibilidad y adherencia, son aquellos que se realizaron con mezclas similares a las que constituyen los núcleos y morteros de pega. La coincidencia en los coeficientes de dilatación de los enjarres de barro disminuye la presencia de microfisuras a consecuencia de retracciones volumétricas. Sin embargo, infortunadamente este tipo de acabados tiene una duración limitada y su supervivencia requiere de procesos de mantenimiento periódico para prevenir patologías.

Por esto, desde tiempo inmemorial se han utilizado los recubrimientos hechos a base de mezclas de cal y arena que, como se mencionó en el apartado referido a la estabilización, resultan plenamente compatibles con los muros térreos.

La cal presenta muchas cualidades de tipo constructivo, económico y ecológico, sobre todo si se le compara con el cemento que es su principal “competidor” en este campo. Entre estas ventajas podemos destacar las siguientes.

Las partículas de cal son mucho más pequeñas que las del cemento, por lo que la diversidad granulométrica de los morteros genera una adecuada oclusión de poros con mejores adherencias. Además, este tamaño de partículas permite que “atrapen” de una manera más firme a los cristales de la arena.

Los morteros de cemento alcanzan en muy poco tiempo su máxima resistencia, pero ésta permanece estable y progresivamente empieza a disminuir. En cambio, las mezclas con cal con el tiempo van adquiriendo una mayor resistencia que nunca decrece. Normalmente, un mortero de cal-arena (1/3) presenta a los siete días una resistencia cercana a 100 kg/cm²; a los 28 días puede llegar a los 125 kg/cm²; a los 90 días, 135 kg/cm² y así sucesivamente. Algunas muestras de morteros con más de mil años de antigüedad han llegado a presentar resistencias a la compresión mayores a 200 kg/cm².¹

Por otra parte, sus combinaciones tienen la propiedad de que, como resultado de la estructura y forma que adquieren los cristales al fraguar, funcionan como un “filtro” del flujo del aire y del agua, por lo que, sin llegar a impermeabilizar totalmente los materiales, son una eficaz protección ante la humedad.

Justamente esta cualidad permeable hace que los morteros de cal puedan intercambiar aire y agua con su medio, de manera que se evita que los núcleos de los muros de tierra retengan la humedad, con lo que se conserva equilibrado su nivel higrotérmico.

¹² Tejada, 1996 Estabilización Sismo-Resistente de tierra con Cemento, 63 p.

En el polo opuesto, el uso de recubrimientos con cemento deja atrapada la humedad en el interior de los muros y terrados, con lo que paulatinamente se van degradando hasta llegar, en casos extremos, a colapsarse.

Las obras con cal poseen mayores propiedades plásticas que las de cemento desde el momento de su aplicación y durante su fraguado a lo largo del tiempo, con lo que las estructuras tienen mayor flexibilidad. Esta cualidad les otorga una evidente tolerancia ante deformaciones causadas por hundimientos diferenciales o empujes imprevistos.

Y como un dato adicional, el proceso de carbonatación del hidróxido de calcio tiene la propiedad de funcionar como bactericida y fungicida, además de atrapar el bióxido de carbono del aire, con lo que se logran espacios más limpios y sanos.

1.7.3 TECNOLOGÍAS

Un sistema constructivo es una tecnología destinada a desarrollar distintos tipos de proyectos para edificaciones ajustados a las necesidades del entorno en tiempos muy reducidos y con precios muy económicos.

Las tecnologías de construcción con Tierra cruda posibilitan la construcción mixta de uno, dos y tres niveles en zonas altamente sísmicas, aunque restringida a una altura no mayor de 10,5 m. En este sistema el primer nivel es edificado con muros CET, los cuales son fabricados compactando el suelo dentro de unos encofrados con formas variables: L, T, X, S...a manera de tapial.

La elección del Sistema Constructivo del tapial (suelo apisonado) obedece a diversas razones. Si se compara la edificación de tapial con la de adobe, pueden anotarse las siguientes diferencias: las construcciones con adobe --a nivel de componentes-- presentan mayores problemas estructurales de estabilidad a consecuencia de la fragilidad en la unión de los bloques y la poca resistencia a los esfuerzos de flexión en el plano del muro; en cambio una edificación de tapial puede ser mucho más estable siempre y cuando los encuentros entre muros sean solucionados adecuadamente (zonas más vulnerables al sismo). Otra diferencia es que un edificio construido con tapial puede llegar a ser un 40% más económico que otro similar hecho de adobe. La razón se sustenta en que el proceso constructivo del tapial es infinitamente más simple. Mientras que para la fabricación de un muro de adobe se debe contar previamente con adobes fabricados varios días antes (extraer el suelo, remojar la tierra, pisar y mezclar con paja, allanar un terreno amplio, moldear los adobes, voltear --de costado-- cada adobe para facilitar su secado, igualar las aristas de cada adobe, apilarlos y finalmente trasladarlos a obra para la fabricación del

muro), la construcción con tapial requiere tan sólo tres etapas: extraer la tierra, humedecerla con muy poca agua y compactarla con pisones manuales o neumáticos dentro de un encofrado. La elección de un sistema tan simple pero con un alto rendimiento lleva a disminuir la cantidad de mano de obra y consecuentemente a reducir el coste total de la edificación.

Los muros CET además de tener variadas formas y refuerzos que incrementan su resistencia sísmica, poseen un dimensionamiento modular que facilita su organización espacial por medio de tramas modulares. El sistema CET utiliza la trama danesa, que consta de una red de 0,30 m subdividida en dos bandas de 0,20 y 0,10 m, lo que facilita la distribución de los muros CET de 0,30 m de espesor como de los muros tipo panel de 0,10 m de espesor (plantas segunda y tercera).

Las plantas superiores pueden ser identificadas utilizando uno o más sistemas mixtos-entramados, es decir, con características que correspondan en primer lugar a edificaciones livianas debido a los materiales utilizados, como la caña, paja, bambú, ramajes u otros similares, y en segundo lugar a edificaciones flexibles por la utilización estructural de materiales con mejor resistencia a esfuerzos de flexión, como madera o bambú.

Si se tienen en cuenta los aspectos sociales, culturales y técnicos que provienen de las tecnologías autóctonas y se aplican en la propuesta de un sistema constructivo contemporáneo, se conseguirá una alternativa de edificación más equilibrada y coherente con la historia y a la vez comprometida con el futuro socioeconómico de nuestras comunidades».

1.7.3.1 TAPIA PISADA

Esta técnica se basa en compactar tierra en capas. La compactación se la hace con una herramienta elaborada en obra denominada “pisón”. La compactación se la hace dentro de un encofrado que consta de dos tableros de madera (2.00m de largo por 1.00m de alto), y dos tapas que dan el ancho del muro. Los encofrados descansan sobre tres elementos horizontales transversales llamados mechinales. Los mechinales tienen en sus extremos unas cajas donde se instalan los parales que son elementos verticales que ajustan el encofrado para que no se abra con el continuo impacto del pisón.

La parte superior del encofrado se ajusta con un amarre que puede ser de alambre. Una vez que se termina de pisar la sección, se desmonta el encofrado y se desplaza horizontalmente para compactar una nueva sección. Al desmontar el encofrado y extraer los mechinales quedan unos orificios que atraviesan el muro y que son característicos de este sistema constructivo.

1.8 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTONICAS Y ESTRUCTURALES DEL ADOBE Y TAPIAL

El adobe y el tapial presentan características similares a pesar que se elaboran con sistemas constructivos diferentes.

A continuación se analizarán dos viviendas (adobe y tapial) de dos plantas, las cuales poseen características semejantes, donde las fachadas son semejantes. Ambas técnicas constructivas presentan plantas típicas en forma rectangular (L o C), por lo general, en una distribución típica de estas viviendas, la cocina y los servicios higiénicos se construyen por separado de las habitaciones, las que no se conectan interiormente. Por ello, cada una de las habitaciones requiere de una puerta exterior que se conecte a un corredor o a una escalera.

Los cimientos se construyen con piedras grandes unidas con mezcla de barro y tiene profundidad variable. En algunas viviendas se construyen sobrecimiento. En las viviendas de adobe, los muros se construyen con bloques asentados con mortero de barro, al cual se le puede agregar paja. En las viviendas de tapial los muros se construyen con bloques que se asientan por presión sin el uso de juntas de barro. En ambas tecnologías la altura de cada piso es variable. Ambos tipos de viviendas presentan revoques con mortero de tierra y paja y cuentan con techos que se construyen con rollizos de eucalipto. Estos techos se apoyan directamente sobre los muros y tiene pendiente variable. Las cubiertas de los techos pueden ser tejidos con cañas sobre las que se coloca mortero de barro.

1.9 CUADRO DE COMPARACION DE CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES¹³

VIVIENDAS DE ADOBE	VIVIENDAS DE TAPIAL
NÚMERO DE PISOS: 2	NÚMERO DE PISOS: 2
Conjunto Estructural: <ul style="list-style-type: none">• Cimientos• Muros	Conjunto Estructural: <ul style="list-style-type: none">• Cimientos• Muros L=1.50m; a=0.40m h=0.60m

¹³ Tejada, 1995 Estabilización Sismo-Resistente de tierra con Cemento, 201 p

<ul style="list-style-type: none"> • Vigas y Columnas (arriostres) • Techos • Refuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • No tienen arriostres • Techos • No tiene Refuerzos
Cimentación: profundidad menor	Cimentación: profundidad mayor h=0.80m
Sobrecimiento	No tiene Sobrecimiento
Espesor de muros: menor	Espesor de muros mayor e=0.40m
Se realiza ensayos de laboratorio y campo	No realizan ensayos
Presentan arriostres horizontales y verticales	Presentan arriostres horizontales y verticales
Los techos deben ser livianos	Los techos presentan vigas y soleras h=2.40m m=15° Revoque: tierra y paja

1.10 CARACTERISTICAS GENERALES DE UN MODULO DE TAPIAL Y TECNICA CONSTRUCTIVA PARA UNA VIVIENDA DE DOS PLANTAS

Tapias:

Es un suelo arcilloso que deberá ser tamizado por una malla de 2" mezclado en seco con paja y arena gruesa con proporción arena – suelo de 1:5. La mezcla tendrá una humedad del 8%.

La cimentación:

La cimentación tiene diferentes sistemas constructivos, la mayoría se construye en base a vigas corridas en roca y material de relleno conformando un entramado de vigas bajo los muros principales de la edificación. En general la cimentación alcanza el suelo firme por debajo de la capa orgánica. Las formas más frecuentes de cimentación son en “L”, en “T” invertida o cimentación prismática del mismo ancho del muro.

Las rocas que constituyen el material principal de la cimentación pueden ser del tipo anguloso, redondeado o una mezcla de los dos. Los fragmentos angulosos pequeños permiten el agarre entre elementos mayores y sirven de cuña para nivelar las rocas. Los fragmentos de tipo redondeado provienen generalmente de ríos y quebradas, al igual que en el caso anterior, los cantos rodados se traban acuñándose con guijarros.

Algunas veces los espacios entre las rocas que conforman la cimentación se dejan vacíos. Otras veces se llenan con material arenoso que facilitan su colocación y en muchas veces se utiliza cal y canto como cementante.

Cuando la construcción se ubica en un terreno inclinado, la cimentación se proyecta hasta la cota superior del piso conformando espacios vacíos los cuales se utilizan normalmente como despensas o cuartos de herramientas.

Cimentación con refuerzo para mejorar la aptitud sismorresistente

La cimentación es de hormigón ciclópeo con una profundidad de 30cm a 80cm donde se anclará el refuerzo vertical. El techo estará conformado por troncos de eucalipto de 3" de diámetro paralelos a los muros que correspondan, la pendiente será no mayor a 15°. Estos troncos estarán unidos contra el refuerzo vertical de los muros que correspondan.

Los Sobrecimientos

Por encima de la cota de terreno hasta donde llega la cimentación se proyecta el sobrecimiento en material rígido y resistente. El sobrecimiento tiene el propósito de proteger el muro de tapia de la humedad, de la acción del agua superficial, del goteo y de otras acciones agresivas que ocurren a nivel de piso y conformar la base definitiva de asiento de los muros. Los sobrecimientos ascienden generalmente hasta 0.50 m pero pueden proyectarse hasta alturas mayores siguiendo un alineamiento en el muro totalmente irregular.

Los sobrecimientos se construyen con ladrillo cocido sentado con cal con fragmentos de roca equivalentes a los de la cimentación. Los vacíos que quedan hacia la parte externa del sobrecimiento se nivelan con pañete.

Los Pisos sobre el Terreno

La conformación de los pisos es en general independiente del tipo y conformación de la cimentación y del sobrecimiento, puede ser:

Base en ladrillo cocido

Estructura de madera

Base en roca, suelo compactado y baldosa

Los Muros

El muro o sección de tapia se trata de la misma manera como se levanta un muro con adobes pero de gran tamaño. Para realizar las juntas horizontales se escarifica la superficie del muro que recibe la nueva hilada sin colocar ningún tipo de elemento de conexión. En algunas ocasiones se instalan elementos en las juntas horizontales tales como adobes, trozos de teja, ladrillo cocido, etc, con el fin de proporcionar una superficie de fricción entre las dos hiladas

Generalmente los encuentros de dos muros principales (uno perimetral y uno carguero), se levantan con disposiciones de trabe similares a las esquinas de adobe y ladrillo.

Una solución para estabilizar estos muros contra los impactos horizontales del sismo es utilizar elementos verticales de madera o bambú dentro del muro, anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado.

Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos debido a que no se puede apisonar bien la tierra por debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene un anclaje con la tierra se debilita la sección en estos puntos y pueden aparecer fisuras horizontales.

Refuerzo

Se puede utilizar refuerzo de eucalipto, o varilla de 8 mm de diámetro con el objeto de absorber los esfuerzos de tracción para darle una integridad global a la estructura. Este refuerzo se lo colocará en los extremos de cada tapia a 20 cm de sus bordes. El refuerzo horizontal servirá para arriostrar al vertical y compatibilizar sus deflexiones, se lo conectará al vertical cada dos hiladas con alambre #16.

Entrepisos

Están formados por vigas y pueden ser:

Vigas Cargueras de Entrepiso

Vigas Corona de Entrepiso

Uniones Viga Corona – Viga Carguera

Uniones entre Vigas Corona en esquinas

Solera

Se la puede construir con concreto de baja resistencia (140 Kg/cm²), la misma llevará refuerzo de caña (total 4), estribadas con acero de ¼". Cada varilla vertical de eucalipto estará unida a un estribo de la solera amarrada con alambre #16.

Acabado de Entrepiso

Los acabados de entrepiso se construyen normalmente con listones de madera apoyados directamente sobre las vigas cargueras de entrepiso

Cielo Raso

La utilización del cielo raso no es generalizada. En algunos casos se deja el acabado inferior del sistema de entrepiso a la vista pintándolo para mejorar su apariencia. En otros casos se coloca pañete para dar un terminado más uniforme a la madera que conforma el entrepiso.

Muros en Nivel Superior

Los muros cargueros del segundo piso son en general la continuación de los muros correspondientes en el primer piso y tienden a conservar el mismo tipo de aparejo, se apoyan directamente sobre el embone del entrepiso conectándose con el refuerzo vertical que viene del primer piso.

Cubierta

Las viviendas en adobe y tapia pisada presentan gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En general se presenta predominio de elementos de madera. Una de las estructuras dominantes conocida como la de par y nudillo incluye los siguientes elementos principales:

- Viga Cumbreira: conforma la viga longitudinal principal y recibe las correas.
- Vigas Correas: vigas principales que sostienen el encañado de techo.
- Pares: elementos diagonales.
- Tirantes: vigas de madera que atraviesan el vano y reciben las vigas soleras.
- Soleras: vigas instaladas en las cajas de los tirantes. Reciben las correas y las vigas pares.
- Nudillos: elementos longitudinales de amarre entre vigas correas y vigas pares.

1.11 ALTERNATIVAS Y CONSIDERACIONES PARA EVALUAR LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Las alternativas para evaluar los sistemas constructivos se orientan en metodologías descriptivas basadas en el análisis de datos cuantitativos y cualitativos sustentables de los tipos de materiales y estructuras a emplearse, incluyendo su procesamiento y fabricación, hasta su transporte al sitio de construcción. Estas metodologías toma en cuenta aspectos que varían según la región, como la procedencia de la materia prima, el proceso de fabricación, el tipo y cantidad de energía utilizada en el proceso, las distancias de transporte, la instalación, el mantenimiento durante la vida útil y la disposición final del o los componentes que conforma un sistema constructivo, considerando el de mayor impacto sobre el ambiente.

2.1 MÉTODOS UTILIZADOS PARA REALIZAR UNA PROPUESTA DE DOSIFICACIÓN DEL TAPIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS.

La presente investigación se realizó en la Ciudad de Loja perteneciente al Cantón y Provincia de Loja, en la República del Ecuador.

El diseño escogido en la investigación fue experimental verdadero (HERNÁNDEZ, 2003), el mismo que cumplió con los siguientes requisitos:

- a. Manipulación intencional de variables independientes.
- b. Obtención de granulometrías de los agregados variando los porcentajes (tanteos) para obtener las densidades requeridas.
- c. Obtención de la proporción del estabilizador variando los porcentajes (tanteos) para obtener la resistencia requerida.

En cuanto a la relación del tamaño de la muestra para los ensayos de laboratorio, se optó por las medidas normadas por El Manual de Pavimentos del Ministerio de Obras Públicas (Dirección de Estudios) 1980.

2.2 EQUIPAMIENTO UTILIZADO

Se utilizaron los equipos normados del Laboratorio “Suelos y Pavimentos” de la ciudad de Loja.

2.3 MATERIA PRIMA

El Limo, Arcilla y Arena provienen de la parroquia de Malacatos (barrio Mirador), ciudad y provincia de Loja. El cemento utilizado es del Tipo IP Portland de la fábrica Cemento Nacional, en buenas condiciones.

2.4 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se las obtuvo por excavación a mano en los alrededores del Barrio Mirador, perteneciente a la Parroquia Malacatos, ciudad y provincia de Loja



2.5 DESARROLLO DE LOS ENSAYOS

Se verificó que las muestras obtenidas cumplan con lo especificado para Limos, Arcillas y Arenas, a través de los siguientes ensayos:

- ... Granulometrías
- ... Límite Líquido
- ... Límite Plástico
- ... Índice de Plasticidad
- ... Clasificación Método S.U.C.S. y AASHTO

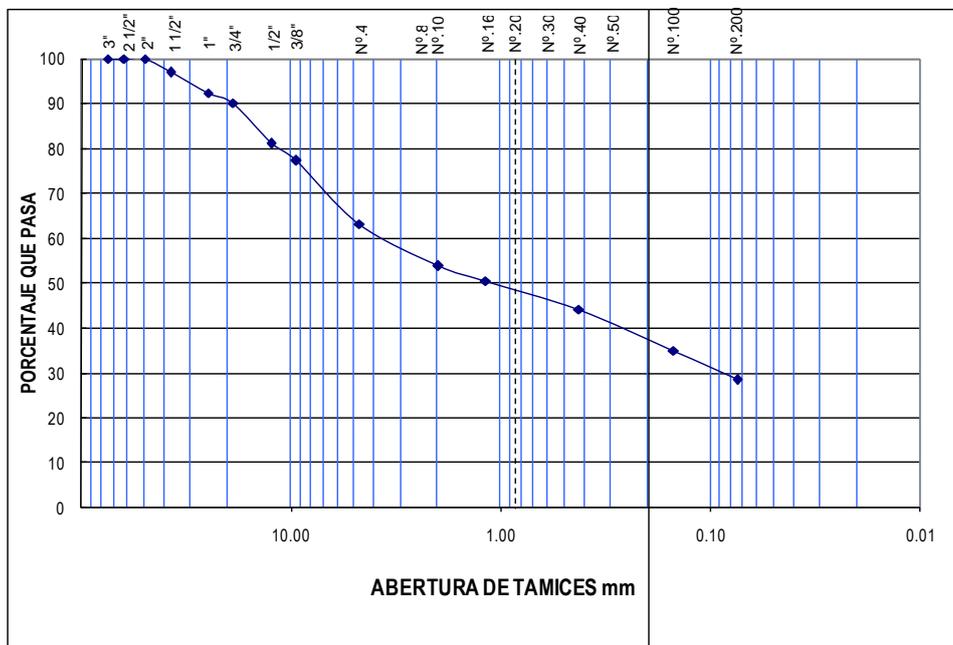
Lo que determinará que sean realmente Arcillas, Limos y Arenas.

2.5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL LIMO

Tabla 2.1 Granulometría y Curva Granulométrica del Limo

MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	188	3	97	
25	1"	456	8	92	
19	3/4"	591	10	90	
12.5	1/2"	1125	19	81	
9.5	3/8"	1359	23	77	
4.750	Nº.4	2196	37	63	
	Pasa Nº.4	3753	63	37	
2.360	Nº.8				
2.000	Nº.10	70	9	54	
1.180	Nº.16	96	13	50	
0.850	Nº.20				
0.600	Nº.30				
0.425	Nº.40	144	19	44	
0.300	Nº.50				
0.150	Nº.100	213	28	35	
0.075	Nº.200	263	35	28.3	
	Pasa Nº.200	214	28.3		
	TOTAL	5949			

Peso Total de Lavado:	477.00	Peso antes de Lavado:	
Peso Total después de Lavado:	263.00	Peso después del Lavado:	
Módulo de Finura:			

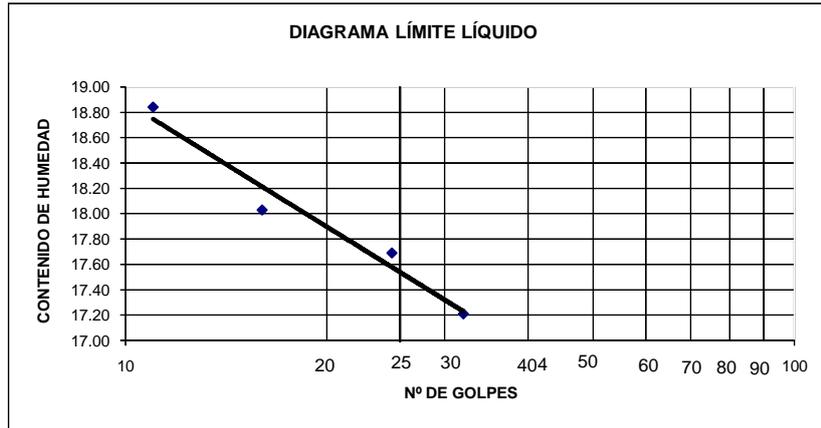


Fuente: Autor de la Investigación

2.5.2 LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL LIMO

Tabla 2.2 Límite líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

NUMERO DE CÁPSULA	307	321	339	310
Peso de la Cápsula (gr.)	18.24	18.64	18.20	18.49
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	42.53	39.06	40.35	38.65
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	38.68	35.94	37.02	35.69
Peso del suelo Seco (gr.)	20.44	17.30	18.82	17.20
Peso del Agua (gr.)	3.85	3.12	3.33	2.96
Contenido de Humedad (%)	18.84	18.03	17.69	17.21
NUMERO DE GOLPES	11	16	25	32



LÍMITE PLÁSTICO

NUMERO DE CÁPSULA	143	136	157
Peso de la Cápsula (gr.)	8.95	9.00	9.24
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	9.25	9.21	9.54
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	9.21	9.18	9.50
Peso del suelo Seco (gr.)	0.26	0.18	0.26
Peso del Agua (gr.)	0.04	0.03	0.04
Contenido de Humedad (%)	15.38	16.67	15.38
Contenido Medio de Humedad (%)		L.P. = 15.81 %	

RESULTADOS

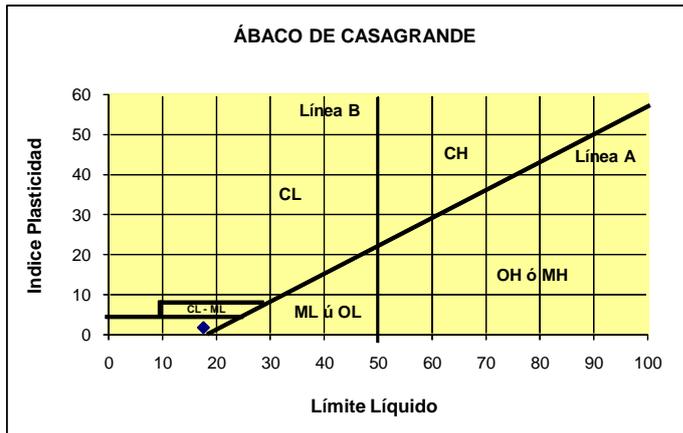
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 17.6%	L.L. = 18%
L.P. = 15.8 %	L.P. = 16 %
I.P. = 1.8%	I.P. = 2%

Fuente: Autor de la Investigación

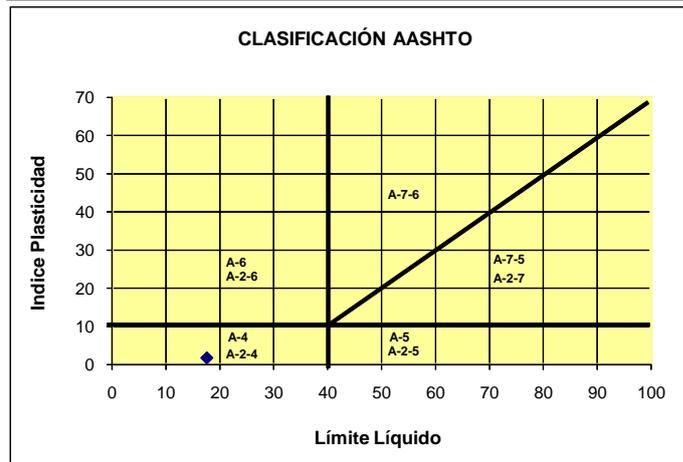
2.5.3 CLASIFICACIÓN DEL POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO

Muestra :	LIMO	Norma:	A.A.S.H.O. T 90-56
Procedencia:	TESIS MAESTRÍA	Fecha Ensayo:	10/12/2010
Solicitado por:	ING. ROBERTO FEBRES	Realizó:	ING. ROBERTO FEBRES

Tabla 2.3 Clasificación del Limo Método SUCS y AASHTO



LÍMITE LÍQUIDO L.L.	18 %
LÍMITE PLÁSTICO L.P.	16 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P.	2 %



CLASIFICACIÓN	
Pasa tamiz Nº.4 :	63 %
Pasa tamiz Nº.200 :	28 %
D60 :	4.00 mm
D30 :	0.10 mm
D ₁₀ (diámetro efectivo) :	
Coefficiente de Uniformidad (Cu) :	
Grado de Curvatura (Cc) :	
Valor del índice de grupo (IG)	0

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Grava limosa con arena GM

Sistema de Clasificación de Suelos (AASHTO)

A-2-4 grava y arena limosa

Fuente: Autor de la Investigación

Considerando los ensayos granulométricos y Límites: Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad. La Clasificación según normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas del material ensayado es del Tipo: Grava Limosa con Arena GM

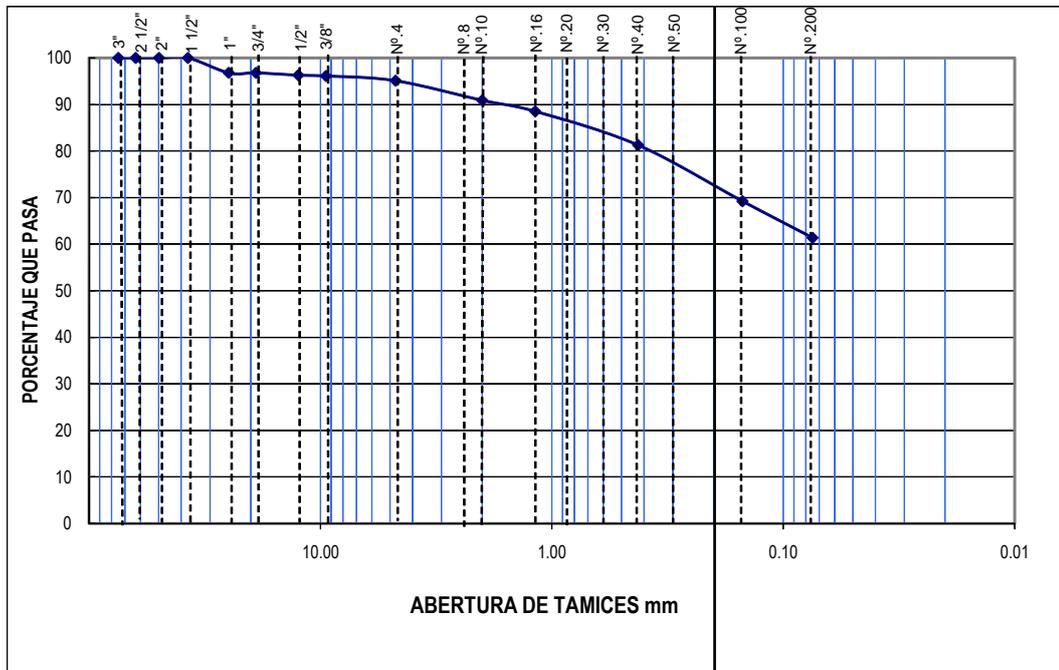
2.5.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARCILLA

Tabla 2.4 Granulometría y Curva Granulométrica de la Arcilla

MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	35	3	97	
19	3/4"	35	3	97	
12.5	1/2"	40	4	96	
9.5	3/8"	42	4	96	
4.750	Nº.4	53	5	95	
	Pasa Nº.4	1035	95	5	
2.360	Nº.8				
2.000	Nº.10	7	4	91	
1.180	Nº.16	11	7	89	
0.850	Nº.20				
0.600	Nº.30				
0.425	Nº.40	23	14	81	
0.300	Nº.50				
0.150	Nº.100	43	26	69	
0.075	Nº.200	56	34	61.4	
	Pasa Nº.200	102	61.4		
	TOTAL	1088			

Peso Total de Lavado:	158.00	Peso antes de Lavado:	
Peso Total después de Lavado:	56.00	Peso después del Lavado:	
Módulo de Finura:			

CURVA GRANULOMÉTRICA

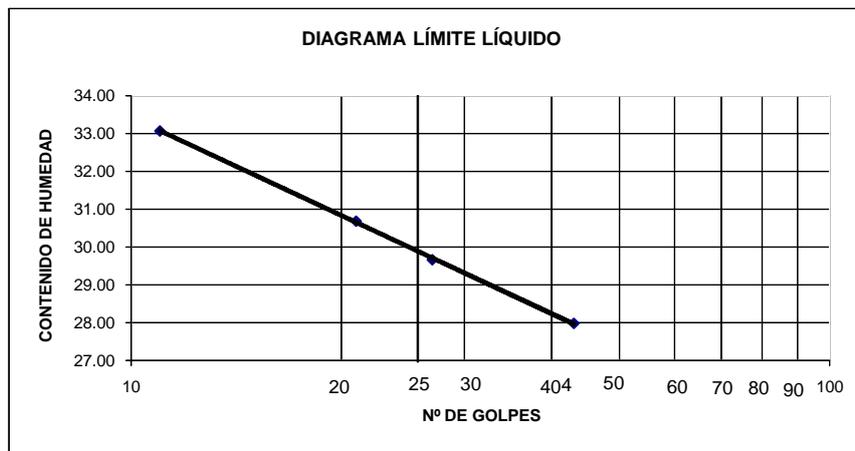


Fuente: Autor de la Investigación

2.5.5 LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA ARCILLA

Tabla 2.5 Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la Arcilla

NUMERO DE CÁPSULA		333	344	325	347
Peso de la Cápsula (gr.)		17.12	17.10	18.14	18.01
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)		33.82	31.07	36.32	28.85
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)		29.67	27.79	32.16	26.48
Peso del suelo Seco (gr.)		12.55	10.69	14.02	8.47
Peso del Agua (gr.)		4.15	3.28	4.16	2.37
Contenido de Humedad (%)		33.07	30.68	29.67	27.98
NUMERO DE GOLPES		11	21	27	43



LÍMITE PLÁSTICO

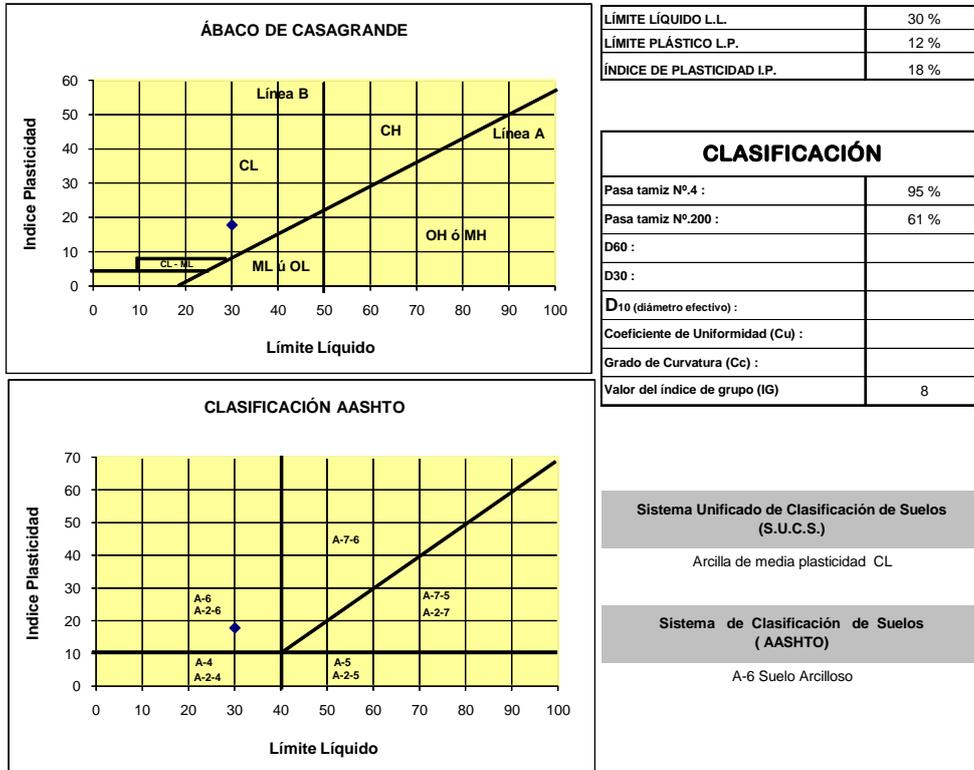
NUMERO DE CÁPSULA		155	141	166
Peso de la Cápsula (gr.)		8.89	8.98	8.62
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)		9.08	9.16	8.80
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)		9.06	9.14	8.78
Peso del suelo Seco (gr.)		0.17	0.16	0.16
Peso del Agua (gr.)		0.02	0.02	0.02
Contenido de Humedad (%)		11.76	12.50	12.50
Contenido Medio de Humedad (%)			L.P. = 12.25 %	

RESULTADOS	
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 30.0%	L.L. = 30%
L.P. = 12.3 %	L.P. = 12 %
I.P. = 17.8%	I.P. = 18%

Fuente: Autor de la Investigación

2.5.6 CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO

Tabla 2.6 Clasificación por el Método SUCS y AASHTO de la Arcilla



Fuente: Autor de la Investigación

Considerando los ensayos granulométricos y Límites: Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad. La Clasificación según normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas del material ensayado es del Tipo: Arcilla de media Plasticidad CL.

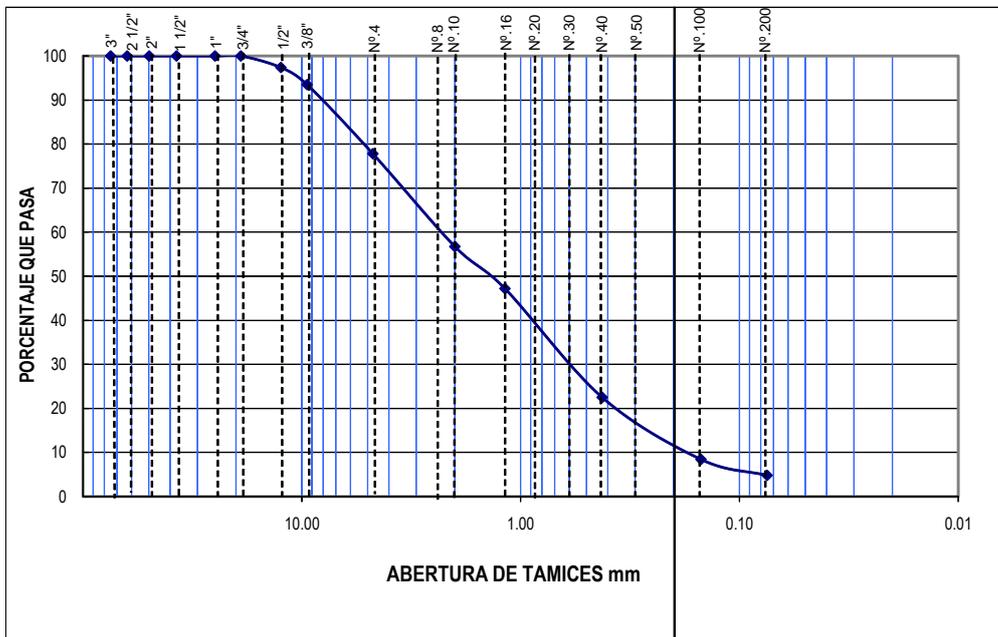
2.5.7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

Tabla 2.7 Análisis Granulométrico de la Arena

MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37.5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	100-- - 100
12.5	1/2"	70	3	97	95 - 100
9.5	3/8"	175	6	94	80 - 100
4.750	Nº.4	601	22	78	50 - 85
	Pasa Nº.4	2107	78	22	20 - 60
2.360	Nº.8				
2.000	Nº.10	75	21	57	15 - 60
1.180	Nº.16	109	31	47	15 -- 50
0.850	Nº.20				
0.600	Nº.30				
0.425	Nº.40	197	55	22	10 -- 30
0.300	Nº.50				
0.150	Nº.100	247	69	8	1 -- 10
0.075	Nº.200	260	73	4.8	1 -- 8
	Pasa Nº.200	17	4.8		
	TOTAL	2708			

Peso Total de Lavado:	277.00	Peso antes de Lavado:	
Peso Total después de Lavado:	260.00	Peso después del Lavado:	
Módulo de Finura:			

CURVA GRANULOMÉTRICA

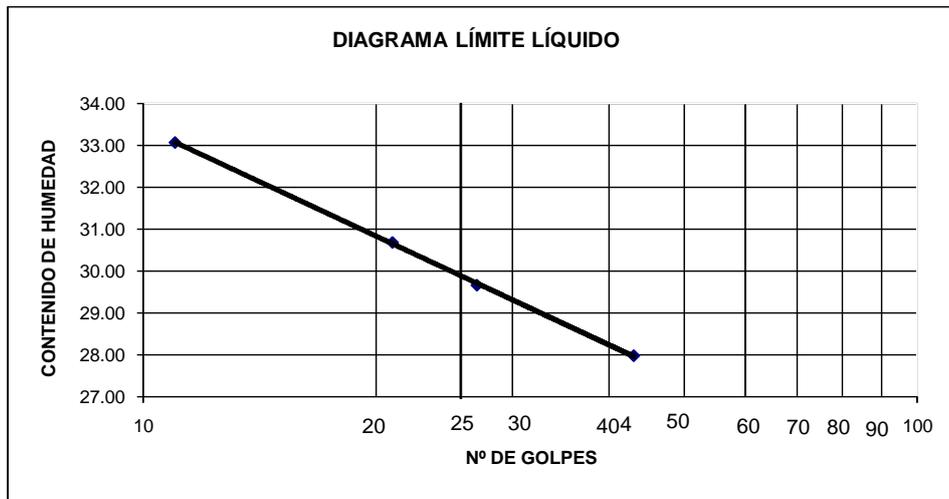


Fuente: Autor de la Investigación

2.5.8 LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LA ARENA

Tabla 2.8 Ensayos de Plasticidad de la Arena

NUMERO DE CÁPSULA	333	344	325	347
Peso de la Cápsula (gr.)	17.12	17.10	18.14	18.01
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	33.82	31.07	36.32	28.85
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	29.67	27.79	32.16	26.48
Peso del suelo Seco (gr.)	12.55	10.69	14.02	8.47
Peso del Agua (gr.)	4.15	3.28	4.16	2.37
Contenido de Humedad (%)	33.07	30.68	29.67	27.98
NUMERO DE GOLPES	11	21	27	43



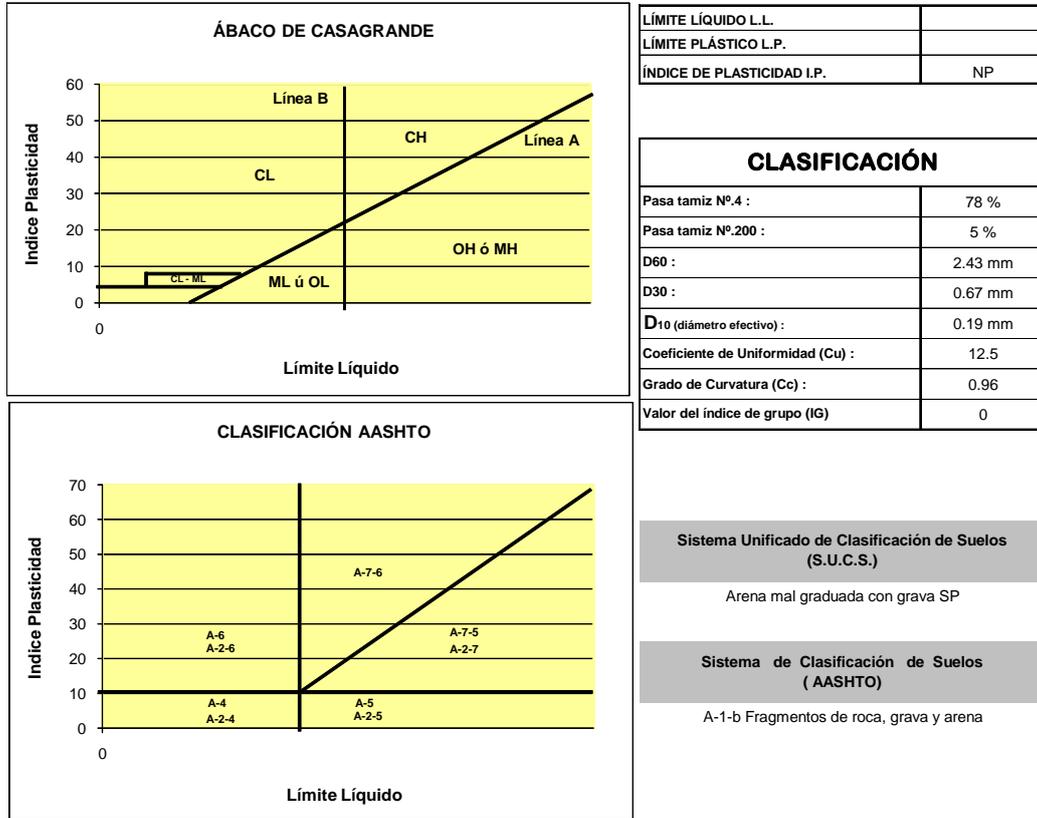
LÍMITE PLÁSTICO

NUMERO DE CÁPSULA	155	141	166
Peso de la Cápsula (gr.)	8.89	8.98	8.62
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	9.08	9.16	8.80
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	9.06	9.14	8.78
Peso del suelo Seco (gr.)	0.17	0.16	0.16
Peso del Agua (gr.)	0.02	0.02	0.02
Contenido de Humedad (%)	11.76	12.50	12.50
Contenido Medio de Humedad (%)		L.P.= 12.25 %	

Fuente: Autor de la Investigación

2.5.9 CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO SUCS Y AASHTO

Tabla 2.9 Clasificación por el Método SUCS y AASHTO de la Arena



Fuente: Autor de la Investigación

Considerando los ensayos granulométricos y Límites: Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad. La Clasificación según normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas del material ensayado es del Tipo: Arena con Fragmentos de Roca y Grava.

2.6 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

Los Parámetros de combinación¹⁴ según normas establecidas son los siguientes:

- ... 70% - 80% de Arena
- ... 20% - 30% de Limo
- ... 5% - 10% de Arcilla

Para la realización del diseño granulométrico de la dosificación de los agregados del Tapial, se efectuaron diferentes tanteos para lograr densidades entre 1800 kg/m³ – 2100 kg/m³, obteniendo un % óptimo de diseño para el sector de:

¹⁴ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

... 20% Limo

... 10% Arcilla

... 70% Arena

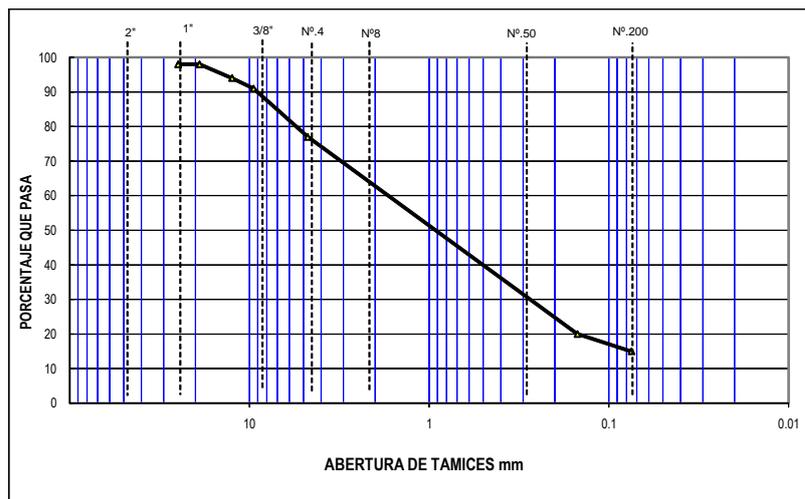
Tabla 2.10 Tabla de Dosificación de la Mezcla

AGREGADO	CANTERA	TAMAÑO DE TAMIZ (PORCENTAJE QUE PASA)						
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº100	Nº200
Nº1	LIMO	92.33	90.07	81.09	77.16	63.09	34.92	28.30
Nº2	ARCILLA	96.78	96.78	96.32	96.14	95.13	69.24	61.41
Nº3	ARENA	100.00	100.00	97.42	93.54	77.81	8.43	4.78

GRADACIÓN COMBINADA PARA MEZCLAS PRUEBA

AGREGADO	% USADO	TAMAÑO DE TAMIZ (PORCENTAJE QUE PASA)						
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº100	Nº200
LIMO	20 %	18.47	18.01	16.22	15.43	12.62	6.98	5.66
ARCILLA	10 %	9.68	9.68	9.63	9.61	9.51	6.92	6.14
ARENA	70 %	70.00	70.00	68.19	65.48	54.46	5.90	3.34
TOTAL	100 %	98	98	94	91	77	20	15
ESPECIFICACIONES DESEADAS		100	100	95	90	80	50	15
		100	100	60	50	50	20	0
FAJA DE TRABAJO								

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: Autor de la Investigación

2.7 ESTABILIZACIÓN DEL TAPIAL CON CEMENTO

La estabilización del Tapial con cemento se realizó a través de ensayos a la compresión simple en laboratorios de suelos.

2.7.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

El tapial no estabilizado tiene una densidad de entre 1.800 y 2.100 kg/m³, y una resistencia a compresión en torno a 15 kg/m², si bien esta resistencia depende mucho del tipo de tapial y su composición, pudiendo existir oscilaciones normalmente no superiores al 30%¹⁵.

- ✓ Con 6% de cemento se incrementa la resistencia al 151.93% a la ruptura total (37.78kg/cm²)¹⁶.
- ✓ Con 8% de cemento se incrementa un 156.95% a la ruptura total (38.54 kg/cm²)¹⁷.
- ✓ Con 10% de cemento se incrementa un 201.31% a la ruptura total (45.19 kg/cm²)¹⁸.

2.7.2 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Luego de obtener el porcentaje de la mezcla adecuada de los agregados del Tapial, se determinó el Porcentaje de Cemento para lograr la estabilización del mismo a través de cilindros con un diámetro de 11cm, y un área de 100cm² logrando obtener resistencias similares a la compresión simple a los 28 días según datos de la investigación.



Detalle Fotográfico 3



¹⁵ UDELAR, Unidad de Investigación Tecnologías en Tierra: Alternativas a la Ocupación: Arquitecturas en Tierra. (pag:56)

¹⁶ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

¹⁷ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

¹⁸ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento

Detalle Fotográfico 4



Detalle Fotográfico 5



Detalle Fotográfico 6



Detalle Fotográfico 7



2.7.3 REPORTE DE RESULTADOS

De los ensayos realizados, se concluye que la resistencia promedio óptima a la compresión a los 28 días calendario en cilindros de tapial estabilizados con el 10% de cemento es de 50.71 kg/cm². Por lo tanto la dosificación para un metro cúbico de los componentes del tapial estabilizados con cemento para el Barrio Mirador de la Parroquia de Malacatos ciudad y provincia de Loja que se propone es la siguiente:

- 20% Limo
- 10% Arcilla
- 70% Arena
- 10% Cemento

Las planillas de reportes de resultados son las indicadas en el anexo 2.1.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO
RENOVABLES

Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TAPIAL ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y REFORZADO CON BARRILLAS DE ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS.

3.1.1 TECNOLOGÍAS TRADICIONALES



El proceso constructivo comienza con la preparación y conformación del lugar determinado, eliminando restos vegetales, tierra orgánica o humus. Una vez fijados los ejes de los muros, mediante el replanteo en el sitio, se procede a elaborar los cimientos excavando zanjas con profundidades entre 1,00 y 1,50 m, según la calidad del suelo del lugar para construir, con un ancho promedio de 0,85 m, cuidando de todas formas que sea de mayor espesor que el muro de tapia a soportar.

Al llegar al borde del suelo se hace el montaje y nivelación del encofrado o tapial y se continúa el basamento ciclópeo, hasta una altura variable de 0,30 m a 1,00 m, dependiendo de la inclinación o nivelación del terreno, elaborando el denominado encepado. También conocido como cepa, el encepado es un sobrecimiento que tiene como función la protección del muro, en su parte inferior, contra la humedad del suelo y de la lluvia. Además mantiene aireadas las tapias, recibiendo al mismo tiempo sus cargas y repartiéndolas al terreno.

Se pueden considerar varias fases para completar un tapiado, la primera es la que implica y contiene el encepado; en la segunda fase se procede a subir el encofrado haciendo el denominado remonte, y se determinan los vanos existentes para colocar dinteles de madera de puertas y ventanas. Se culmina con el enrase o sobre tapia, mediante el desplazamiento final del tapial alineando las alturas de los muros realizados.

Los muros de tapial se construyen de bloques que miden en promedio 1.50 m de largo, 040 m de ancho y 0.60 m de alto. Estos bloques se asientan por presión, sin el uso de juntas de barro, la altura de cada piso varía entre 2.40 m y 3.10 m. Estas técnicas constructivas tradicionales generalmente cuentan con techos que se construyen con rollizos de eucalipto distanciados entre 0.60 y 0.80 m. Estos techos se apoyan directamente sobre los muros y tienen una pendiente aproximada de 15° si es a una sola agua y de 23° si es a dos aguas. Las coberturas de los techos pueden ser tejidos con cañas generalmente, sobre las que se coloca un mortero de paja y barro para asentar tejas de arcilla¹⁹.

3.2 TECNOLOGÍA PROPUESTA

3.2.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

3.2.1.1 CIMENTACIÓN.-

La cimentación alcanzará el suelo firme por debajo de la capa orgánica, se construirá en base a viga corrida y tendrá el doble del ancho del muro, el material que conforma el muro de cimentación es de hormigón ciclópeo. En este elemento irá anclada una varilla de 14 milímetros de diámetro que conformará el refuerzo vertical.

3.2.1.2 SOBRECIMIENTO.-

Por encima de la cota de terreno hasta donde llega la cimentación se proyecta el sobrecimiento (material rígido y resistente). El sobrecimiento tiene el ancho del muro y tiene el propósito de proteger el muro de tapia de la humedad, de la acción del agua superficial, del goteo y de otras acciones agresivas que ocurren a nivel de piso y conformar la base definitiva de asiento de los muros. Los sobrecimientos ascienden generalmente hasta 0.50 m pero pueden proyectarse hasta alturas mayores siguiendo un alineamiento en el muro totalmente irregular. Para el presente proyecto se propone una altura de 50 cm.

Los sobrecimientos se construyen con el mismo material que el cimiento. Los vacíos que quedan hacia la parte externa del sobrecimiento se revisten con el mismo mortero.

3.2.1.3 PISOS.-

La conformación de los pisos es en general independiente del tipo y conformación de la cimentación y del sobrecimiento, puede ser:

Base en ladrillo cocido

Estructura de madera

Base en roca, suelo compactado y baldosa

3.2.1.4 MUROS.-

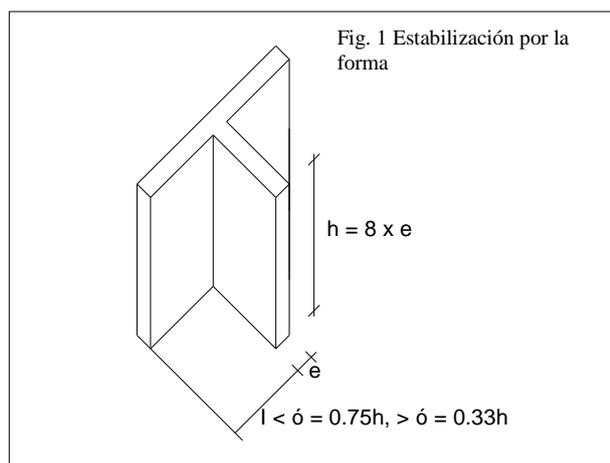
¹⁹ <http://www.construccion.org.ec/icq@icq.org.ec>

Consisten en rellenar un encofrado de 80 cm de altura con capas de tierra de 50 cm compactando cada una de ellas con un pisón, donde el encofrado se desmonta y se vuelve a montar verticalmente para evitar que aparezcan fisuras horizontales de retracción. Esto significa que la tierra es apisonada en capas de 50 cm de altura.

Estabilización por la forma.-

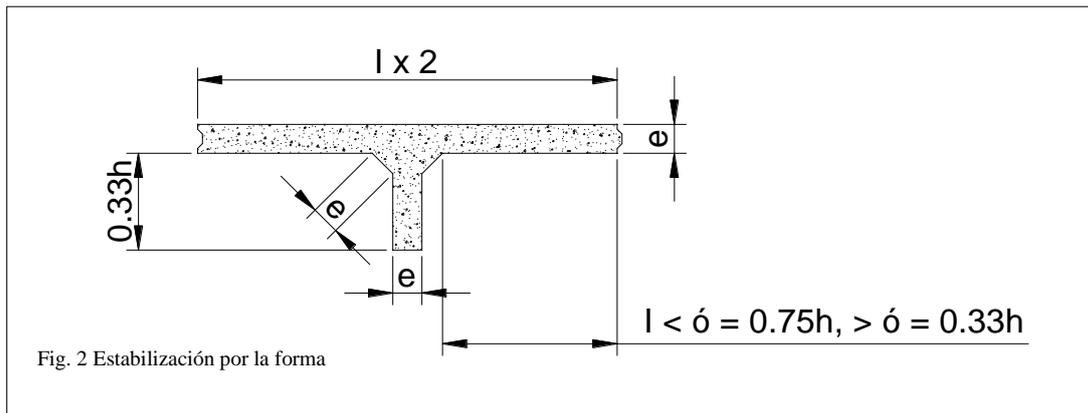
Debido a que los muros delgados son débiles a los impactos horizontales perpendiculares, se propone una solución de estabilización mediante elementos de muro angular en forma de T que proveen resistencia al volcamiento.

Si el muro tiene un espesor $e = 20\text{cm}$, el extremo I debe ser de no más de $\frac{3}{4}$ de la altura (h) y no menos de $\frac{1}{3}$ de de la altura (h). La altura del muro no debe ser mayor a 8 veces al espesor del mismo²⁰ (fig. 1)



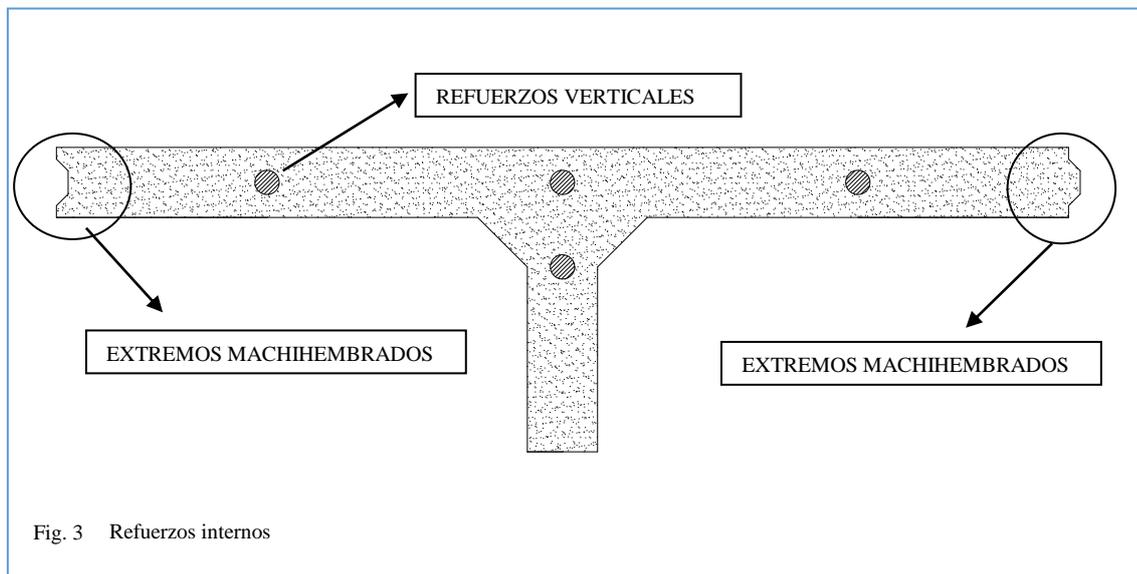
Las fuerzas perpendiculares al muro se transfieren a la sección del muro paralela a las mismas, por tanto, las fuerzas se concentran en la esquina del ángulo y por ende este tiende a abrirse, por ello, es recomendable diseñarlas evitando el ángulo recto. Para obtener una estabilización lateral, se recomienda que la junta de los elementos de muro sea machihembrada (fig. 2).

²⁰ JULIO VARGAS NEUMAN, JUAN BARIOLA, MARCIAL BLONDET. 1984, RESISTENCIA SISMICA DE LA MAMPOSTERÍA DE TAPIAL 309 p.



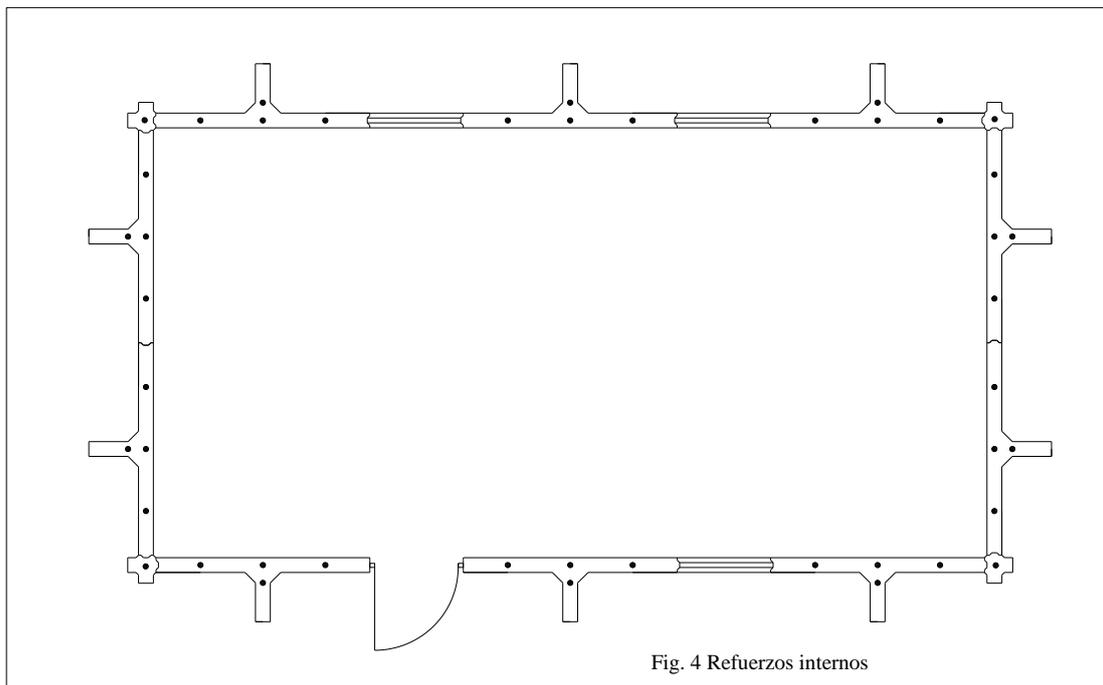
3.2.1.5 REFUERZOS INTERNOS.-

Una solución para estabilizar muros de barro contra los impactos horizontales es utilizar elementos verticales de madera o bambú, en este caso se propone utilizar varillas de 14mm anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado. Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos, debido a que no se puede apisonar bien la tierra debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene un anclaje con la tierra se debilita en estos puntos y pueden aparecer fisuras horizontales²¹ (fig. 3).



²¹ JULIO VARGAS NEUMAN, JUAN BARIOLA, MARCIAL BLONDET. 1984, RESISTENCIA SISMICA DE LA MAMPOSTERÍA DE TAPIAL 209 p

PLANTA TIPO PROPUESTA



3.2.1.6 DINTELES.-

Los vanos de las puertas se construyen mediante un gran dintel constituido por dos o más vigas de madera de sección aproximada de 0.15m a 0.20m las cuales se empotran en los muros de apoyo al menos 0.40m a cada lado del vano.

3.2.1.7 ENTREPISOS.-

Vigas Cargueras de Entrepiso.-

Las vigas cargueras de entrepiso se extienden entre muros cargueros conformando la plataforma de apoyo del entrepiso. Estas vigas tienen como función transmitir la carga a las vigas corona de entrepiso, las cuales a su vez se apoyan directamente sobre los muros cargueros.

Para estas vigas se utiliza madera de sección rectangular (0.20m x 0.15m), la separación entre las vigas cargueras es de 0.50m.

Vigas Corona de Entrepiso.-

Las vigas corona de entrepiso se instalan sobre los muros cargueros y sirven de apoyo directo a las vigas cargueras de entrepiso, transmitiendo las cargas tanto verticales como horizontales a los muros cargueros.

Para este caso se propone vigas cargueras dobles que se instalan en forma paralela y simétrica en el muro carguero y entre ellas se encuentra el refuerzo vertical. Estas vigas tienen por lo general dimensiones menores a las cargueras.

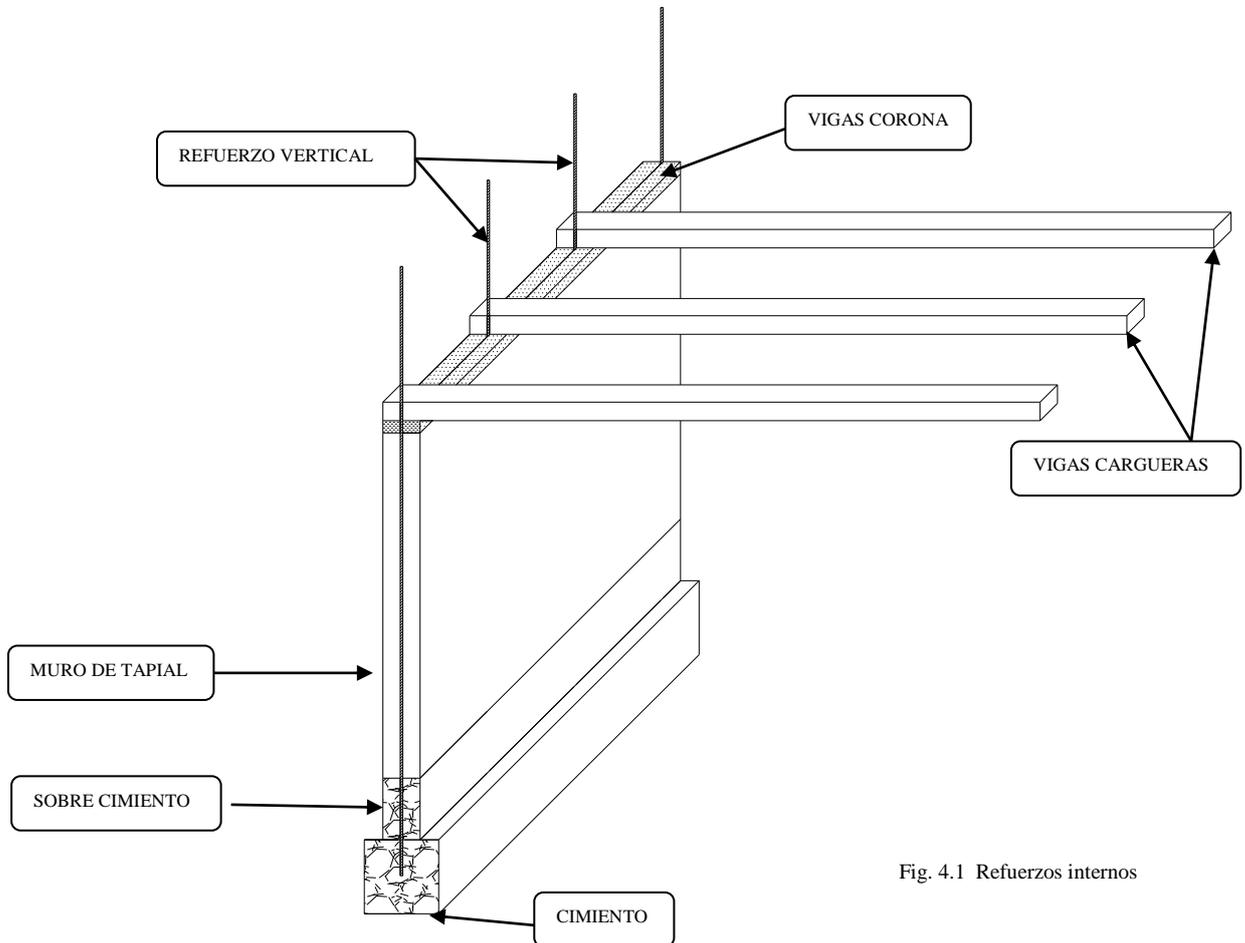


Fig. 4.1 Refuerzos internos

Unión Viga Carguera – Viga Corona.-

Esta unión se refuerza con un clavo de acero.

Unión entre Vigas Corona en Esquinas.-

Consiste en elementos de madera que unen en dirección diagonal las vigas corona.

Entrepiso.-

Los acabados de madera se construyen con listones de madera apoyados directamente sobre las vigas cargueras de entrepiso.

3.2.1.8 MUROS EN EL NIVEL SUPERIOR.-

Los muros del segundo piso son la continuación de los muros correspondientes en el primer piso conservando el mismo ancho y se apoya sobre las uniones de las vigas corona – carguera.

3.2.1.9 CUBIERTA.-

En la actualidad existen una gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En este caso se propone la denominada “viga – correa - tijera²²” que está compuesta por los siguientes elementos:

- Viga Cumbreira: que conforma la viga longitudinal principal y recibe las correas.
- Viga Correa: vigas principales que sostienen las vigas o listones tijeras del techo.
- Viga Tirante: vigas de madera que atraviesan el vano y reciben las vigas soleras.
- Viga Solera: vigas instaladas en las vigas tirantes y reciben las correas o tijeras.

²² CERESIS – 1999 Universidad Católica del Perú, Reforzamiento Sismo-resistente de viviendas de adobe existentes en la región andina – Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica – AIS, 2001 Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.

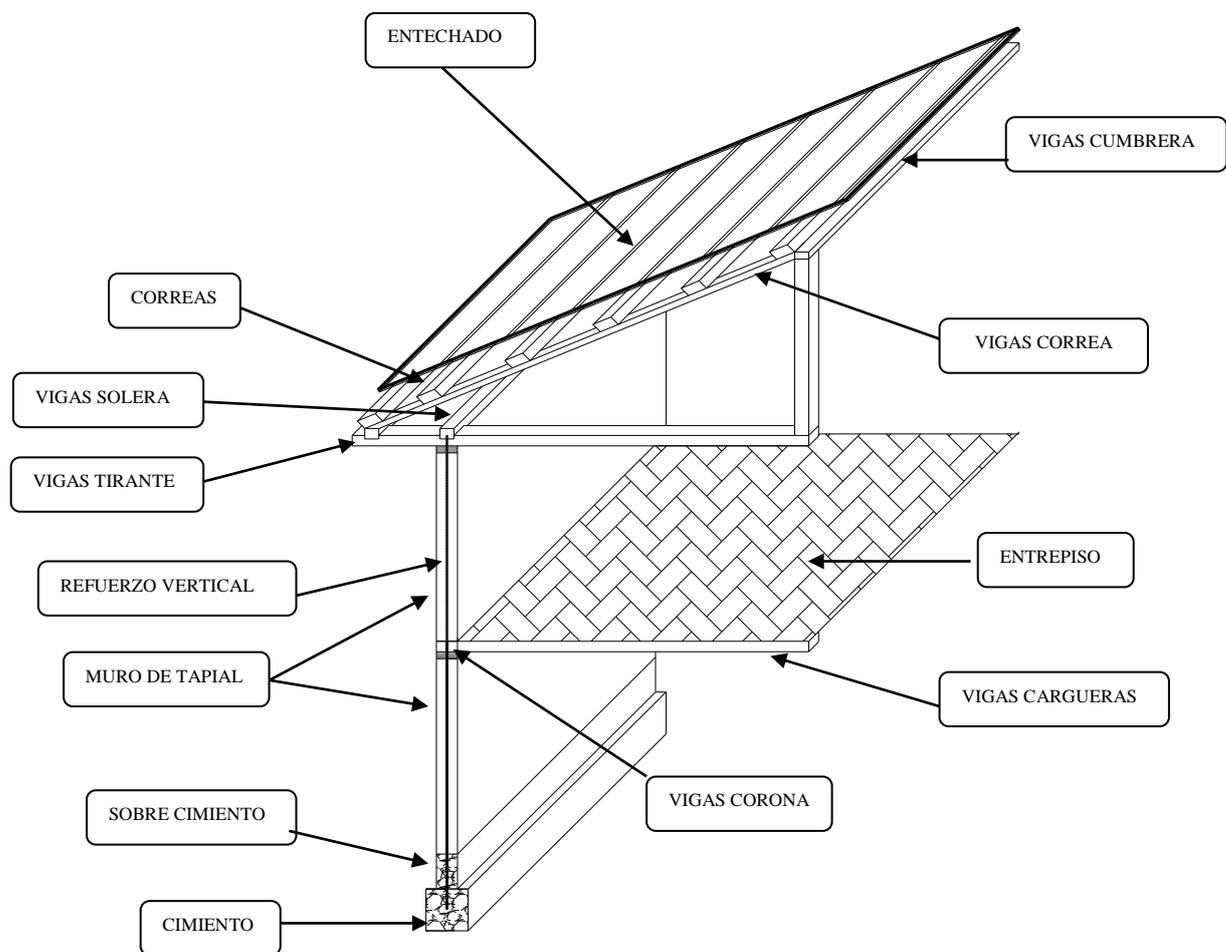


Fig. 5 Cubierta

3.2.1.10 UNIONES EN LA ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA.-

Las uniones se realizan mediante cajas en la viga tirante y en la viga solera y clavos de hierro para garantizar un buen ajuste entre los elementos.

3.2.1.11 ENTECHADO.-

Consiste en un encañado amarrado con fibra natural apoyado sobre las vigas correas y sobre este se puede colocar teja de barro.

3.3 COMPETITIVIDAD ECONÓMICA DE LOS MUROS EN TAPIA.

Según varios conocedores del tema de construcción en tierra, hablar de casas hechas en adobe, tapia pisada o bloque de tierra es referirse a la vía más económica y ancestral que se conoce en cuanto a la arquitectura.

Las primeras edificaciones en adobe se construyeron 7 mil años A.C. Hoy se levantan construcciones en adobe en países como Irán, Afganistán e Iraq.

En América Latina hay ciudades construidas con este mismo material, como Antigua, en Guatemala, declarada Patrimonio Histórico de la Humanidad

Para la profesora Sánchez, la historia de estos materiales esconde técnicas tan antiguas como también modernas. “Hay entre 12 y 34 métodos para construir con tierra, entre los que existen algunos sistemas, como los moldeados directos, con los que se construyeron algunas de las mezquitas más famosas en el mundo”.

3.3.1 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS MUROS CON TAPIA

- ✓ El Tapial es un tipo de construcción en base a tierra húmeda apisonada, muy usado en nuestro país debido a la rapidez en su construcción y a su bajo costo
- ✓ El tapial posee una baja dilatación térmica, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de 56 decibelios en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz. Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento. A menudo podemos comprobar la dificultad que supone picar en las paredes de las casas de nuestros pueblos, a pesar de la aparente fragilidad que a simple vista puede representar.
- ✓ Las construcciones llevadas a cabo con esta técnica tienen propiedades bioclimáticas ya que hacen "efecto botijo" o "vasija de barro", manteniendo una temperatura relativamente estable en su interior durante todo el año, tanto en verano con calor extremo, como en invierno con un frío intenso. En los trópicos la temperatura media del año es de unos 25° C, independientemente de las temperaturas externas.
- ✓ Por su bajo costo se perfilan también como una solución digna para las construcciones de carácter social. Sin embargo, la construcción ecológica no está basada en los números sino en una filosofía de vida sostenible.

- ✓ En la bioconstrucción se utilizan materiales naturales que no necesitan consumo de energía calórica: el barro no contamina y significa un ahorro energético, mientras que la industria de la construcción tradicional consume el 50% de la energía empleada en el mundo.
- ✓ La tierra prensada posee una muy elevada masa térmica (es decir, habilidad para almacenar calor). En los países de clima frío, esto constituye un invaluable recurso en los diseños de sistemas pasivos de energía solar. Durante el invierno, la pared actúa como un acumulador de energía calórica a los rayos del sol, que luego irradia al interior de la edificación compensando el incremento de frío en la temperatura ambiental y actuando como un regulador climático en la edificación. Durante el verano, el diseñador debe prever adecuada protección solar sobre las paredes (prolongación de quebrasoles y otros recursos que impidan el recalentamiento excesivo de las paredes de la edificación). De existir una marcada caída de temperaturas nocturnas con relación a las diurnas las paredes "respirarán" hacia afuera el exceso de calor acumulado durante el día antes de que el mismo haya logrado penetrar al interior de la edificación.
- ✓ Un manejo apropiado de la ventilación de los espacios de la vivienda puede mantenerlos frescos durante las horas diurnas.
- ✓ Otros beneficios incluyen: el uso de la tierra como recurso afín al ambiente; bajo mantenimiento; solidez y sentido de estabilidad y permanencia derivado de la forma construida; ambiente saludable interno; ahorros y economías en cuanto a la administración del sistema de aire acondicionado de la edificación; adecuada protección climática, paredes contra incombustibles y protección a la penetración de insectos a su interior.

3.3.2 HERRAMIENTA MÍNIMA

Las herramientas presentadas han sido presentadas durante más de dos siglos. Describiremos otras herramientas provenientes de regiones o países diferentes, con el fin de comprender mejor las variaciones de la puesta en obra de esta técnica.

- Agua
- Pala
- Pico
- Encofrado
- Panel
- Pisón

- Cuñas
- Riostras

3.3.3 COMPETITIVIDAD DE UN MURO EN TAPIA

a) Independencia y disponibilidad.

- ✓ Un factor importante a favor del barro es su independencia y la abundancia, disponibilidad y uso de su materia prima con fines de participación comunitaria y de su uso por mano de obra no especializada.

b) Trabajabilidad.

- ✓ En el caso del adobe tradicional, otro beneficio lo constituye la facilidad para cortarlo, tornearlo o ajustarlo dimensionalmente.

c) Costo de fabricación.

- ✓ Las tecnologías tradicionales del barro aquí tratadas (adobe, bahareque , barro prensado) no presentan exigencias energéticas que no sean el uso del sol como fuente de secado. Esto representa un ahorro significativo con relación a otras tecnologías.
- ✓ En el caso específico del adobe tradicional como material de construcción el ahorro del costo energético en su producción es factor decisivo, máxime si se toma en cuenta que el "quemado" del ladrillo rojo de arcilla representa el 40 % de su costo. Si comparamos los valores energéticos requeridos para producir ambos materiales encontraremos que son de 2.000 Btu para el adobe contra 30.000 para el ladrillo de horno.

d) Insonorización y climatización.

- ✓ El uso del barro en construcción representa un buen aislante acústico y, aún cuando no puede ser clasificado como un buen aislante térmico en regiones donde hay diferencias marcadas día-noche en la temperatura ambiental exterior, la pared de barro actúa como un regulador ambiental en materia de climatización interna.

e) Sentido ambientalista.

- ✓ Desde el punto de vista de la creciente conciencia ambientalista que caracteriza a la arquitectura actual el barro se agrupa con las tecnologías ambientalmente correctas en razón de su auto reciclaje.



4.1 CONCLUSIONES

- ... La proporción de cemento se mide con relación al volumen total de los muros terminados (en fresco), y no según el volumen de la tierra suelta.
- ... El relleno se hace en capas de 50 cm, que se reducen a la mitad, tras el apisonamiento. Este se hace mediante dos pisones: Uno metálico de 8,3 Kg, y base rectangular de 336 cm², y uno de madera (especialmente para los ángulos y zonas de más difícil acceso), de 4,2 Kg y 56 cm² de sección.
- ... Apisonar una sección de 0,50 m² requiere promedio unos 130 golpes de pisón por capa, desde una altura promedio de 0,35 m. Esto representa una energía de apisonamiento de 1,69 J/cm² si los pisones se dejaran caer por su propio peso.
- ... Los muros de suelo cemento se apisonan de la misma forma que los de tierra simple, pero deben mantenerse húmedos por lo menos una semana para evitar que un secado rápido produzca resquebrajadura o desmoronamientos a causa de la contracción.
- ... La estabilización por la forma mediante elementos de muro angular en forma de T proveen resistencia al volcamiento.
- ... El espesor (e) del muro es de 20cm, por lo tanto, el extremo I debe ser no más de $\frac{3}{4}$ de la altura (h) y no menos de $\frac{1}{3}$ de de la altura (h). La altura del muro no debe ser mayor a 8 veces al espesor del mismo.
- ... Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos, debido a que no se puede apisonar bien la tierra debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene un anclaje con la tierra se debilita en estos puntos y pueden aparecer fisuras horizontales.
- ... Una vez realizadas todas las pruebas mecánicas, químicas, físicas y organoeléctricas, se puede concluir lo que la estabilización con cemento Portland tipo I, mejora las características mecánicas de los ladrillos de tapia, como lo también la resistencia a la compresión simple en seco la resistencia a la compresión simple en húmedo y resistencia a la flexión.

- ... Por lo anteriormente expuesto se puede determinar que la influencia del cemento Pórtland tipo I, en las arcillas con la que se fabricaron los ladrillos de adobe, tienen una influencia importante que permite mejorar sus características originales.
- ... También se puede determinar, que la estabilización con 10% de cemento es la más adecuada para la zona de Tampico, por ser la que presenta las mejores características mecánicas, físicas y químicas. Ya que los resultados en la prueba de ácidos de ésta muestra no sufrieron daño alguno.
- ... El diseño de la mezcla propuesta de los agregados del Tapial para el barrio Mirador de la Parroquia de Malacatos es de: 20% Limo, 10% Arcilla, 70% Arena y 10% Cemento.
- ... Se propone utilizar varillas de 14mm anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado para estabilizar muros de tapia de dos plantas contra los impactos horizontales.
- ... Por su bajo costo, la tapia se perfila como una solución digna para las construcciones de carácter social.



RECOMENDACIONES

- ... Se recomienda mano de obra especializada para la construcción de muros a base de tapia
- ... Conviene preparar sólo lo que se va a apisonar para no desperdiciar material. Si hubiera una demora se puede posponer un poco el fraguado moviendo la mezcla – ya húmeda- con la pala, pero si la demora fuera de algunas horas, el cemento pierde efectividad, por lo que habrá que volverle a ponerle nuevamente cemento en la misma proporción elegida.
- ... Cuando se continúa el trabajo sobre una sección incompleta debe mojarse su superficie y rasparla con rastrillo o garra de jardinería para romper la capa seca.
- ... Se recomienda por razones de economía, seguridad, preparar algunos bloques para realizar ensayos de resistencia con cemento al 6, 8 y 10%. Los bloques pueden tener un tamaño de 15 X 30 X 35 cm. Sólo a los efectos del ensayo, se somete los bloques a un curado húmedo (cubiertos con una arpillera mojada) durante una semana, descubiertos a la sombra durante 15 días y a pleno sol por otra semana. Durante todo este tiempo hay que proteger los bloques de la lluvia para que los resultados del ensayo puedan ser comparables con otros. Finalizada esta etapa viene la prueba propiamente dicha. Para ello se sumergen en agua los bloques unas tres horas y se dejan secar un poco. Se comienza a ensayar con el bloque con 6% de cemento. Primero se observa si se han producido rajaduras o descortezamientos importantes en el bloque (si fuera así queda descartado). Luego, se golpea el bloque con pica hielo de punta afilada (no tiene que penetrar más de 6 mm). Por último, se rompe el bloque por la mitad. Si se disgrega el bloque no es apto. Si el bloque no pasa la prueba se continúa con el siguiente hasta encontrar un resultado satisfactorio.
- ... Que se hace necesario investigar más sobre los procedimientos de fabricación, con el fin de homogeneizar las producciones de ladrillos.
- ... Que el método de estabilización más adecuado para zonas para climas tropicales húmedos es el con cemento Portland tipo I.
- ... Que es conveniente realizar estudios de termicidad y acústicos para ver si también en estas características el cemento Portland tipo I, influye.



... Realizar estudios en relación a los procedimientos constructivos con este tipo de materiales, en especial lo relacionado con el fenómeno de capilaridad.



6 BIBLIOGRAFÍA

Libros:

ACEVEDO J. 2002 Programa de Maestría en Construcción Civil y Desarrollo Sustentable U  – Ecuador.

CÓRDOBA-REPÚBLICA ARGENTINA 1991 Publicación del I CONGRESO LATINOAMERICANO de la CONSTRUCCIÓN (Tomos I y II).

CRATERRE 2000 Arq. en Tierra. Construir con Tierra.

HERNÁNDEZ R 2003. Metodología de la Investigación 3° edición México D.F. Mc Graw-Hill, 705p.

GRACIELA MA VIÑUALES 1991 RESTAURACIÓN de ARQs de TIERRA (65págs.).

HUBER-KLEESPIES-SCHMIDT 1997 Neues Bauen mit Lehm (Nuevas construcciones con barro) Okobuch Verlag, Staufen, 103 p.

MINKE, GERNOT 2000 Daecher begruenen (Techos verdes) Okobuch Verlag, Staufen, 93p.

MINKE, GERNOT 2001 Manual de Construcción con Tierra Editorial Nordan, Montevideo 222 p.

MIRTA E. SOSA 2002 LA ARQUITECTURA POPULAR DEL VALLE CALCHAQUÍ. LA VIVIENDA, TRADICIÓN Y MODERNIDAD. Seminario La Arquitectura de Tierra en la Construcción del Hábitat. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento.

ROSARIO ETCHEBARNE, GABRIELA PIÑEYRO, ANA BEASLEY, 1997 MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE Universidad de la República, Facultad de Arquitectura Regional Norte, Salto – 61 páginas.

SCHILLBERG-KNIERIEMEN 1993 Naturbaustoff Lehm (Construcciones naturales con barro) AT, Zurich, 160 p.

SECOFI, D.G.N 1976 NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-C-6-1976. Industria de la Construcción –ladrillo y bloques cerámicos de barro, arcilla o similares. Ed. Dirección General de Normas de la SECOFI. México, D.F. 10 Pp.

Páginas Web:

www.casasprefabricadas.net/sistemas.htm

www.clgeng.com/

www.clgchalets.com/
www.casasconfortables.net/portada.htm
www.casasconfortables.net/bioclimatica.htm
www.casasconfortables.net/portada.htm
www.casas-prefabricadas.info/
www.construccion.org.pe
www.proterra.com/



7 ANEXOS

ANEXO 2.1

PLANILLA DE REPORTES DE RESULTADOS.

1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS:



- a. LIMO,
- b. ARCILLA
- c. ARENA

2. LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD:

- a. LIMO
- b. ARCILLA
- c. ARENA

3. CLASIFICACIÓN MÉTODO SUCS Y AASHTO:

- a. LIMO
- b. ARCILLA
- c. ARENA

4. DISEÑO GRANULOMÉTRICO DE DOSIFICACIÓN

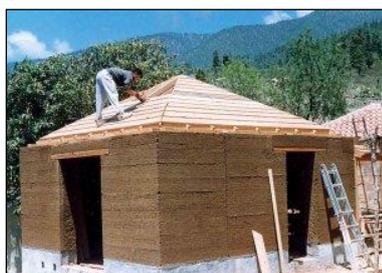
5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE TAPIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO: 7, 14 Y 28 DÍAS

6. DENSIDAD DE LOS TESTIGOS A LOS 28 DÍAS

ANEXO 2.2

Como Anexo se presenta la Guía Práctica (Manual), para la construcción de una vivienda de dos plantas con Tapia Pisada, la cual describe la secuencia de ejecución de manera ilustrada y descriptiva de cada una de las etapas del proceso constructivo.

GUÍA PRÁCTICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA DE DOS PLANTAS CON TAPIA PISADA



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE LOJA
Área de la Energía las Industrias y
los Recursos Naturales No
Renovables

AUTOR: Ing. Byron Roberto Febres Torres

DIRECTOR: Ing. Mg. Sc. Jorge Gahona Pacheco

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1 METODOLOGÍAS DESARROLLADAS A NIVEL LOCAL	4
2 DISEÑOS TRADICIONALES DE MUROS DE TAPIA	4
3 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO	5
PROCESOS HOMOGÉNEOS	5
CONSOLIDANTES	7
FIBRAS	8
HIDROFUGANTES	10
SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO	11
4 PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MURO DE TAPIA ESTABILIZADO CON CEMENTO Y	13

REFORZADO CON VARILLAS DE ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS	
PROCEDIMIENTO	14
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA	14
PROCESO CONSTRUCTIVO	15
CIMENTACIÓN	15
SOBRECIMIENTO	15
PISOS	16
MUROS	16
ESTABILIZACIÓN POR LA MASA	16
ESTABILIZACIÓN POR LA FORMA	16
REFUERZOS INTERNOS	18
DINTELES	20
ENTREPISOS	20
MUROS EN EL NIVEL SUPERIOR	22
CUBIERTA	22
UNIONES EN LA ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA	24
ENTECHADO	24
5 COMPETITIVIDAD DE LOS MUROS EN TAPIA	24
6 BIBLIOGRAFÍA	29

INTRODUCCIÓN

El Ecuador actualmente se encuentra anegado en un ininteligible problema social y económico que ha incidido negativamente en su desarrollo. Las inequitativas políticas de vivienda y el desempleo reflejan la imposibilidad de acceder a una vivienda propia. Por lo tanto el nivel económico de cada hogar tiene relación directa con el tipo de vivienda a la que pueden acceder.

Si bien el derecho a una vivienda digna no obliga a los gobiernos a construir viviendas para toda la población o a proporcionarlas de manera gratuita, sí los compromete a establecer medidas políticas y acciones legales para cumplir con este derecho. Los gobiernos no pueden evadir su responsabilidad en el cumplimiento de éste y otros derechos, especialmente en relación con los grupos más desfavorables.

Ante el incremento en la demanda de vivienda en nuestro país, es imprescindible que los gobiernos continúen impulsando acciones y destinen mayores recursos para la construcción de conjuntos y unidades habitacionales. La participación responsable y comprometida de grupos demandantes de vivienda es y seguirá siendo fundamental para avanzar en la respuesta a este derecho social.

El problema de la vivienda es uno de los más frecuentes en el Ecuador. Es necesario contribuir con soluciones para las problemáticas que los ecuatorianos diariamente enfrentamos. Muchos no tienen lugar en donde vivir y muchos otros viven en condiciones deplorables.

Esta guía técnica se la ha realizado con el propósito de ilustrar la manera como se construía los muros de tapia en el pasado, identificar sus diferencias ante las nuevas técnicas constructivas y presentar alternativas en la aplicación de tecnologías apropiadas para diseñar y construir muros de tapia lo cual harán posible que se puedan construir viviendas de dos plantas.

El contenido de esta guía debe entenderse como una serie de recomendaciones técnicas para diseñar y construir muros de tapia de dos plantas, y no como una normativa legal para la construcción de estructuras. Por lo tanto se recomienda que la utilización de esta guía se realice con la asesoría de un ingeniero civil o un arquitecto competente.

I METODOLOGÍAS DESARROLLADAS A NIVEL LOCAL

Entre las tecnologías existentes o metodologías más utilizadas en la construcción de viviendas a nivel local, se puede señalar principalmente el sistema constructivo convencional, que prima tanto en la producción de viviendas unifamiliares, como en edificios de departamentos. Se entiende por convencional el uso de formaletas para vaciado de las partes estructurales, acero de refuerzo, todos colocados en el sitio por obreros con equipo y herramientas simples.

En cuanto al uso de otra tecnología es muy poca la experiencia con que se cuenta, una de ellas es el uso del sistema de prefabricado, que surgió como una posibilidad para contrarrestar el acelerado aumento de los costos de los materiales de construcción.

En la ciudad de Loja, esta técnica no ha alcanzado un nivel medio de desarrollo, debido a que la gran influencia de tecnologías extranjeras y la falta de mercado a nivel local, no ha permitido que este método constructivo logre sus propias características.

2 DISEÑOS TRADICIONALES DE MUROS DE TAPIAL

El tapial es una antigua técnica que consiste en construir muros con tierra arcillosa que se compacta a golpes, mediante un "pisón", empleando encofrados de madera para contenerla, y se deseca al Sol.

Entre los diseños tradicionales tenemos los siguientes:

... Técnica basada en compactar tierra en capas de 0.10m. la compactación se la hace con una herramienta elaborada en obra denominada pisón, su forma y peso varía según la región. La compactación se la hace dentro de una formaleta llamada tapial que consta de dos tableros de madera de 2.0m de largo por 1.0m de alto llamados hojas de tapial y dos compuertas que dan el ancho del muro. Las dimensiones de las hojas de tapial no son estándar y son variables según la región al igual que el pisón.

... Técnica basada en un suelo arcilloso que deberá ser tamizado por una malla de 2" mezclado en seco con paja y arena gruesa con proporción arena – suelo de 1:5. La mezcla tendrá una humedad del 8%.

... Técnica usada con un encofrado de madera, con una longitud entre 2,00 y 3,00 m, una altura entre 1,00 y 1,30 m, y un ancho variable de 0,50 a 0,70 m, dependiendo de las alturas de las paredes o muros a construir.

3 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

Cuando se han llevado a cabo ensayos con las tierras que se pretende utilizar para construir y sus características no resultan apropiadas, pero tampoco se cuenta con otras fuentes cercanas de obtención, entonces es posible emprender acciones para su mejoramiento a través de lo que se conoce como procesos de estabilización.

Se trata de métodos que a través de siglos de experiencia han permitido la alteración de la respuesta constructiva de la tierra mediante el agregado de componentes adicionales que subsanan su posible vulnerabilidad. Además, estas técnicas pueden dar un beneficio adicional al incrementar las capacidades de suelos cuyas relaciones granulométricas sean de por sí adecuadas (Guerrero, 1994, pp. 23, 75).

Por cuestiones didácticas en este texto se han agrupado los métodos de estabilización dentro de dos conjuntos, en función del origen de los materiales que se agregan y de su interrelación con el suelo original. Se trata de los procesos denominados homogéneos y los heterogéneos.

PROCESOS HOMOGÉNEOS

Los métodos de estabilización de tipo homogéneo consisten en la modificación de las proporciones relativas de la granulometría natural del suelo a través de agregado de los componentes deficitarios.

En un extremo, se presenta por ejemplo el caso de un tipo de tierra considerada inerte, lo que se evidencia en su falta de cohesión y su desmoronamiento al presionarla entre las manos. Esta condición se puede deber a que las arcillas que contiene son muy inactivas, o que resultan proporcionalmente escasas en comparación con la cantidad de limo y arena del conjunto.

Para lograr un equilibrio en este caso, se puede estabilizar el suelo agregando una mayor cantidad de arcilla hasta lograr su acondicionamiento óptimo.

En el polo opuesto, se presenta un tipo de suelo excesivamente inestable, lo que se evidencia por la aparición de fisuramientos durante el secado, como consecuencia de las fuertes modificaciones derivadas del hinchamiento y la

retracción volumétrica. Esta condición se puede deber a que el tipo de arcilla que contiene es muy activo o a que posee demasiada arcilla en comparación con la cantidad de limo y arena.

Para lograr un equilibrio en este caso lo que puede hacerse es estabilizarla agregando estas últimas cargas para obtener una reacción estable del conjunto.

En ambos métodos la estabilización se debe realizar mediante la adición en seco del material estabilizante y, como se explicó anteriormente, se hace necesario desarrollar series de pruebas a partir de modelos de aplicación para determinar las proporciones óptimas.

En la medida de lo posible se ha de procurar que los materiales incorporados sean semejantes a los del suelo natural, hecho que se evidencia con la simple observación de su textura y color.

Los procedimientos son sumamente sencillos y económicos, y los resultados son muy evidentes casi de manera instantánea a través de la verificación del aminoramiento de los fenómenos de agrietamiento derivado de la retracción o del desmoronamiento después del secado.

PROCESOS HETEROGÉNEOS

Los métodos de estabilización de tipo heterogéneo consisten en agregar al suelo componentes ajenos a su condición natural, los cuales le confieren propiedades estables ante la presencia del agua. Estos procesos se pueden dividir en tres subgrupos en función de su forma de actuación sobre el suelo: los estabilizantes por consolidación, los estabilizantes por fricción y los estabilizantes por impermeabilización.

CONSOLIDANTES

Los estabilizantes por consolidación proporcionan ayuda a las arcillas en la acción aglutinante que ejercen sobre las partículas inertes del suelo. Es decir, forman cadenas con los limos y arenas para mantenerlas unidas, con lo que se complementa el trabajo de las arcillas.

El mejor estabilizante por consolidación con que se cuenta y cuya eficacia ha sido probada a lo largo de los siglos en todo el mundo, es la cal.

Como es sabido, durante el proceso natural de carbonatación de esta sustancia, que se denomina químicamente hidróxido de calcio, sirve de liga a las partículas del suelo aumentando su resistencia a la compresión y cortante, además de disminuir sus niveles de absorción hídrica y, por lo tanto, su posible retracción al secado.

La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la porosidad de la tierra, con lo que se mantiene tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos como su virtud de permitir el intercambio de aire y vapor de agua con el medio ambiente, que la hacen funcionar como un sistema natural de control higrotérmico.

Es importante hacer notar que se requiere muy poca cantidad de cal para estos procesos.

Se ha comprobado que agregar volúmenes excesivos no incrementa la resistencia del material resultante e incluso puede generar efectos imprevistos al inhibirse la forma natural de trabajo de las arcillas.

En una serie de estudios llevados a cabo en la Universidad Federal de Bahía con miras a determinar el efecto de la composición mineralógica de las arcillas dentro de sistemas compactados de suelo-cal, se han logrado establecer interesantes comparaciones entre tipos de mezclas con distribuciones granulométricas similares. En esas investigaciones se desarrollaron diversos ensayos con probetas en las que se agregaron como estabilizantes fracciones de cal que variaban entre 0 y 12%.

Entre los resultados obtenidos destaca el hecho de que, para determinados tipos de suelos, se pudieron obtener incrementos en la resistencia de la compresión simple que pasó de 6 hasta 15 kg/cm². Además se puso en evidencia la disminución de la contracción de las mezclas debido al secado, así como la limitación en la acumulación de agua. Las mejores respuestas se consiguieron agregando solamente entre 4 y 8% de cal (Hoffman, 2002, p. 72).

Por otra parte, existe un sinnúmero de sustancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglutinantes y que incluso se han aplicado en paralelo al uso de hidróxido de calcio a lo largo de la historia. Este es el caso de los polímeros extraídos de vegetales como las cactáceas o las suculentas, así como las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo.

Estos productos se han utilizado desde tiempo inmemorial, pero debido a la escasez de información documental y de trabajos experimentales en su aplicación, es difícil proponer su manejo en sitios donde la tradición que les dio origen se ha perdido o nunca existió.

En el caso de México y Perú todavía pervive la costumbre de usar la pulpa del cactus de tuna –baba de nopal– que desde la época prehispánica formaba parte de los adhesivos tanto para el manejo de la tierra utilizada como material constructivo como para el caso de los revoques y pinturas a la cal.

FIBRAS

Los estabilizantes por fricción sirven para conformar una especie de “red” a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Asimismo, modifican los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de microfisuras que no afectan la estabilidad del conjunto.

Esta “red” se desarrolla mediante la introducción de materiales fibrosos que pueden ser de origen vegetal como es el caso de la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal. También existen sitios en los que históricamente se han empleado materiales de origen animal provenientes de la lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano.

Igualmente, existe una tradición muy difundida de utilizar estiércol de caprinos, camélidos, bovinos o equinos, argumentando que estos materiales mejoran la maleabilidad y adherencia de las mezclas. Sin embargo, su principal función desde la perspectiva de la estabilización radica en la incorporación de fibras vegetales que han sido trituradas por el ganado y que son de fácil obtención en los sitios rurales.

Es importante hacer notar que las fibras han de utilizarse en condiciones secas ya que de lo contrario se corre el riesgo de que se pudran con lo que, además de disminuir todas sus cualidades, son causa de deterioros posteriores en las estructuras por los microorganismos que generan.

Desde luego que la elección de la fibra va a depender de la disponibilidad regional. En este sentido, la que mayor difusión ha alcanzado por su extensivo uso en el medio rural es la paja, principalmente de trigo o arroz.

Este material ha sido estudiado con bastante rigor y se ha puesto en evidencia que presenta amplias cualidades de durabilidad, plasticidad y resistencia. Se recomienda utilizar paja cortada en tramos de aproximadamente 10 cm de longitud y en una proporción de alrededor de 1% en peso, lo que significa una relación de un volumen de paja por dos de tierra, ambas en estado seco y sin comprimir. Lógicamente, la dimensión de la paja va a variar según la especie de gramínea de la que procede, el proceso agrícola que la produce en cada región y la tradición constructiva local.

La paja o cualquier otra fibra que se utilice para estabilizar la tierra, cumple su función principal en el momento de la elaboración de elementos constructivos, que es cuando se busca evitar la aparición de fisuras. No obstante, estos agregados siguen trabajando en los edificios con el paso del tiempo, al funcionar como “articulaciones” que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos.

Asimismo, las fibras modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incrementa notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos.

HIDROFUGANTES

Los estabilizantes por impermeabilización tienen la función de conformar una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regula su contacto con el agua y, por lo tanto, las consecuencias de sus cambios dimensionales.

Las sustancias que históricamente han mostrado mejores resultados como “repelentes” son las grasas tanto de origen animal como vegetal o fósil, según la disponibilidad regional. Las grasas animales que se han documentado son el sebo de res y la leche, las de origen vegetal son los aceites de girasol, linaza y oliva, y finalmente, los materiales bituminosos como el asfalto.

Al igual que sucede con el resto de los estabilizantes, la cantidad que se utilice debe ser muy moderada para que no se interfiera el comportamiento normal de las arcillas. Por ejemplo, si se agregara demasiado impermeabilizante en una mezcla de barro, las arcillas no se activarían y dejarían de funcionar como aglomerante del conjunto.

Para el caso del aceite de linaza y del asfalto –conocido comercialmente como rc-250 o rc2– existen especificaciones que consideran que una proporción de 0.5 a 2% en peso de la tierra seca funciona bastante bien para la mayoría de los suelos. Sin embargo, debemos insistir en que estos datos, al igual que las relaciones “óptimas” de arcillas, no deben ser tomados como “receta”.

Simplemente se trata de parámetros que pueden servir como referencia, pero es indispensable hacer los ensayos necesarios en función del tipo de suelo con el que se vaya a trabajar.

Estos tipos de estabilizante se suelen utilizar a temperatura ambiente haciendo una emulsión en el agua que posteriormente se adicionará para hidratar el barro. Es obvio decir que entre más eficiente sea el mezclado, los resultados serán más homogéneos y duraderos.

Finalmente, hay que recordar que la tradición constructiva ha demostrado que estos sistemas de estabilización pueden ser utilizados de forma aislada o en conjunto, por lo que, si se manejan en las proporciones adecuadas, son plenamente compatibles.

Cuando se decida utilizar fibras además de las grasas, cal o mucílagos, es importante realizar la mezcla con estas sustancias primero y posteriormente agregar las fibras, para evitar que se adhieran a ellas y lograr además una distribución adecuada.

También sucede que una misma sustancia estabilizante puede cumplir varias funciones de manera simultánea, como en caso del mucílagos de tuna o el hidróxido de calcio que, aparte de servir como adhesivos y fluidizantes de las mezclas, evitan en cierta medida la penetración de la humedad.

SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

El suelo cemento no es otra cosa que tierra apisonada a la que se le ha agregado una pequeña cantidad de cemento, alrededor del 10%. El cemento le aporta a la tierra un aumento de su resistencia y una reducción de la contracción. El porcentaje de cemento puede variar entre el 7% al 12% dependiendo del tipo de suelo. Entre las características del producto ya curado (tiempo fragüe cemento) se le exigen unas determinadas condiciones de insusceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad.

Según como se mire, al suelo cemento se lo puede considerar como una tierra apisonada resistente o como un hormigón débil. En los '40 surge un gran interés por esta técnica constructiva, en especial a partir de las viviendas construidas en Lawrence, Kansas, en 1942. Algunos de estos edificios se levantaron con muros compactos o con bloques fabricados a mano o con unas sencillas máquinas de autoconstrucción. Ese mismo año la Portland Cement Association (PCA) realizó un profundo estudio de los usos y propiedades del suelo cemento. Este trabajo es todo un clásico en la materia y sigue siendo uno de los mejores materiales de consulta.

La PCA buscó determinar cuál era la mejor proporción de cemento para preparar las mezclas y cómo resolver los distintos problemas que podrían presentarse. De los miles de experimentos realizados para comprobar la resistencia del material terminado y una media docena de propiedades físicas del suelo cemento, es particularmente interesante la relativa al aislamiento térmico. La PCA descubrió que una pared de 20 cm de espesor de suelo cemento equivale a una pared de ladrillos de 30 cm de espesor. Sin embargo, hacer muros más gruesos no es el camino para aumentar el aislamiento térmico en zonas muy frías, ya que el valor aislante decrece a medida que aumenta la densidad de la tierra apisonada. Lo mejor en este caso es construir muros con paredes dobles dejando una cámara de aire en el centro.

La tierra aunque no posee una gran capacidad de aislamiento tiene una característica interesante: El calor no pasa por los muros de tierra con tanta rapidez como lo hace con otros materiales de construcción de uso común. Esto da como resultado que la casa se mantiene notablemente fresca durante el día. Lógicamente, los muros también tardarán más en enfriarse durante la noche. Pero a los moradores de la casa esto parece afectarle menos que tener que soportar altas temperaturas durante el día. Esta inercia térmica puede contrarrestarse si la casa tiene ventanas enfrentadas que permitan una buena circulación del aire más fresco de la noche. Por otra parte, en los climas donde hay una drástica diferencia de temperatura entre el día y la noche, el problema no existe, tan como puede comprobarse en las casas de tierra en la ciudad de Shibam (Yemen), en Egipto o Nuevo México.

El Instituto del Cemento Portland Argentino tiene una serie de recomendaciones de lectura obligada para quienes quieran trabajar con este material. Es importante saber que el suelo cemento tiene baja resistencia a la flexión, a la tracción y el corte en seco por lo que no debe ser sometida a cargas excéntricas como las que se presentan en el apoyo de dinteles pesados. Por eso, para las aberturas se aconseja la construcción de dinteles de hormigón armado.

El suelo cemento es resistente a la humedad, y por lo general bastará una lechada de cemento portland como terminación de las paredes para conferirle una considerable protección. En zonas más inclementes será necesario un revoque exterior y un alero con suficiente vuelo para evitar una excesiva exposición a las lluvias. El peso del suelo cemento varía, de acuerdo al tipo de tierra entre 1500 y 2000 kg por metro cúbico.

4 PROPUESTA DE DISEÑO DE MUROS DE TAPIAL ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y REFORZADO CON VARILLAS DE ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS PLANTAS.

El tapial es una antigua técnica que consiste en construir muros con tierra arcillosa que se compacta a golpes, mediante un "pisón", empleando encofrados de madera para contenerla, y se deseca al Sol. Es una técnica que brinda una retracción más baja y una mayor resistencia y más de ser una construcción monolítica posee mayor estabilidad.

El tapial transpira, como el adobe, es higroscópico y tiene capacidad de difusión; también posee buena capacidad para almacenar frío o calor, siendo buen aislante, y tiene una emisión radiactiva muy baja.

Es semejante al adobe, en cuanto a la composición del material (tierra con algún aditivo, como paja o crin de caballo, para estabilizarlo o pequeñas piedras para conseguir un resultado más resistente) pero se distingue en el modo de hacer la fábrica. Los muros se levantan por tongadas de tierra húmeda entre unos maderos o tablas que forman un encofrado, al modo del hormigón en masa, apisonando cada tongada con un pisón.

No vale cualquier tipo de tierra para construir tapias y, para mejorarlas generalmente se le añade materiales áridos para aumentar la maleabilidad de la tierra y/o cal para añadirle propiedades ligeramente hidrófugas y mejorar la resistencia de los muros (tapia real). Hay también que hacer análisis del suelo que se va a utilizar, es necesario definir las proporciones de arena, arcilla y la cantidad de cemento.

PROCEDIMIENTO

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

Se empleará suelo arcilloso, tamizado por una malla de 2", la dosificación de cemento se calcula como porcentaje en peso del material seco, La estabilización del Tapial con cemento se realizó a través de ensayos a la compresión simple en laboratorios de suelos.

De los ensayos realizados, se concluye que la resistencia promedio óptima a la compresión a los 28 días calendario en cilindros de tapial estabilizados con el 10% de cemento es de 50.71 kg/cm². Por lo tanto la dosificación para un metro cúbico de los componentes del tapial estabilizados con cemento para el Barrio Mirador de la Parroquia de Malacatos ciudad y provincia de Loja que se propone es la siguiente:

- 20% Limo
- 10% Arcilla
- 70% Arena
- 10% Cemento

La humedad de la tierra durante el apisonamiento puede ser del 18 % base húmeda.

La preparación de la mezcla para levantar las paredes se hará con una hormigonera o traspasando de una pila de componente a otra, tal como se explicó antes. Conviene preparar sólo lo que se va a apisonar para no desperdiciar material. Si hubiera una demora se puede posponer un poco el fraguado moviendo la mezcla – ya húmeda- con la pala, pero si la demora fuera de algunas horas, el cemento pierde efectividad, por lo que habrá que volverle a ponerle nuevamente cemento en la misma proporción elegida.

El relleno se hace en capas de 20 cm, que se reducen a la mitad, tras el apisonamiento. Este se hace mediante dos pisones: Uno metálico de 8,3 Kg, y base rectangular de 336 cm², y uno de madera (especialmente para los ángulos y zonas de más difícil acceso), de 4,2 Kg y 56 cm² de sección.

Apisonar una sección de 0,35 m² requiere promedio unos 130 golpes de pisón por capa, desde una altura promedio de 0,35 m. Esto representa una energía de apisonamiento de 1,69 J/cm² si los pisones se dejaran caer por su propio peso. En el caso del pisón de madera (que aportaría el 32 % de ese valor), los operarios deben arrojarlo hacia abajo, de modo que la energía disponible sea algo mayor²³.

PROCESO CONSTRUCTIVO

CIMENTACIÓN.-

La cimentación alcanzará el suelo firme por debajo de la capa orgánica, se construirá en base a viga corrida y tendrá el doble del ancho del muro, el material que conforma el muro de cimentación es de hormigón ciclópeo. En este elemento irá anclada una varilla de 14 milímetros de diámetro que conformará el refuerzo vertical.

SOBRECIMIENTO.-

Por encima de la cota de terreno hasta donde llega la cimentación se proyecta el sobrecimiento (material rígido y resistente). El sobrecimiento tiene el ancho del muro y tiene el propósito de proteger el muro de tapia de la humedad, de la acción del agua superficial, del goteo y de otras acciones agresivas que ocurren a nivel de piso y conformar la base definitiva de asiento de los muros. Los sobrecimientos ascienden generalmente hasta 0.50 m pero pueden proyectarse hasta alturas mayores siguiendo un alineamiento en el muro totalmente irregular. Para el presente proyecto se propone una altura de 50 cm.

Los sobrecimientos se construyen con el mismo material que el cimiento. Los vacíos que quedan hacia la parte externa del sobrecimiento se revisten con el mismo mortero.

²³ Ángel San Bartolomé y Daniel Q. 2003, Análisis comparativo del comportamiento sísmico de un modulo de tapial y otro de adobe reforzados, 369 p.

PISOS.-

La conformación de los pisos es en general independiente del tipo y conformación de la cimentación y del sobrecimiento, puede ser:

- Base en ladrillo cocido
- Estructura de madera
- Base en roca, suelo compactado y baldosa

MUROS.-

Consisten en rellenar un encofrado de 50 a 80 cm de altura con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón, donde el encofrado se desmonta y se vuelve a montar verticalmente para evitar que aparezcan fisuras horizontales de retracción. Esto significa que la tierra es apisonada en capas de 50 a 80 cm de altura.

ESTABILIZACIÓN POR LA FORMA.-

Debido a que los muros delgados son débiles a los impactos horizontales perpendiculares, se propone una solución de estabilización mediante elementos de muro angular en forma de T que proveen resistencia al volcamiento.

Si el muro tiene un espesor $e = 30\text{cm}$, el extremo l debe ser de no más de $3/4$ de la altura (h) y no menos de $1/3$ de la altura (h). La altura del muro no debe ser mayor a 8 veces al espesor del mismo²⁴ (fig. 1)

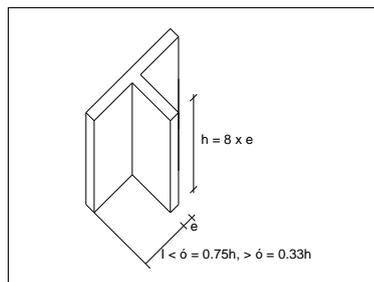


Fig. 1

Las fuerzas perpendiculares al muro se transfieren a la sección del muro paralela a las mismas, por tanto, las fuerzas se concentran en la esquina del ángulo y por ende este tiende a abrirse, por ello, es recomendable diseñarlas evitando el ángulo recto. Para obtener una estabilización lateral, se recomienda que la junta de los elementos de muro sea machihembrada (fig. 2).



Una solución para estabilizar muros de barro contra los impactos horizontales es utilizar elementos verticales de madera o bambú, en este caso se propone utilizar varillas de 14mm anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado. Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos, debido a que no se puede

apisonar bien la tierra debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene un anclaje con la tierra se debilita en estos puntos y pueden aparecer fisuras horizontales²⁵ (fig. 3).

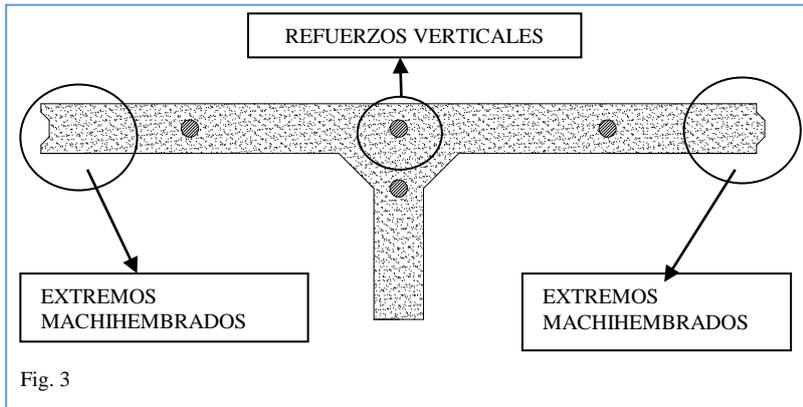


Fig. 3

PLANTA TIPO PROPUESTA

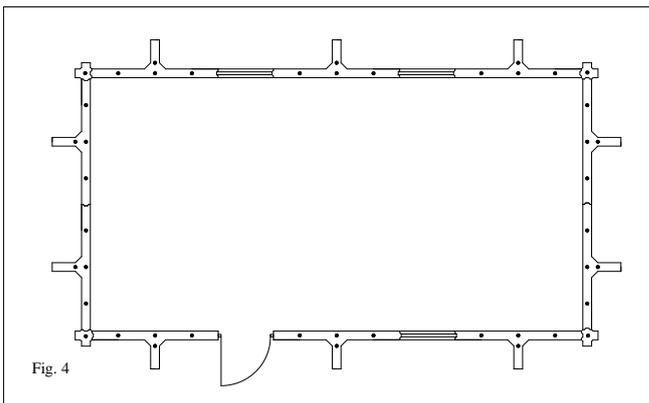


Fig. 4



DINTELES.-

25 JULIO VARGAS NEUMAN, JUAN BARIOLA, MARCIAL BLONDET 1984, Resistencia Sísmica de la Mampostería de Tapial 269 p.

Los vanos de las puertas se construyen mediante un gran dintel constituido por dos o más vigas de madera de sección aproximada de 0.15m a 0.20m las cuales se empotran en los muros de apoyo al menos 0.40m a cada lado del vano.

ENTREPISOS.-

Vigas Cargueras de Entrepiso.-

Las vigas cargueras de entrepiso se extienden entre muros cargueros conformando la plataforma de apoyo del entrepiso. Estas vigas tienen como función transmitir la carga a las vigas corona de entrepiso, las cuales a su vez se apoyan directamente sobre los muros cargueros.

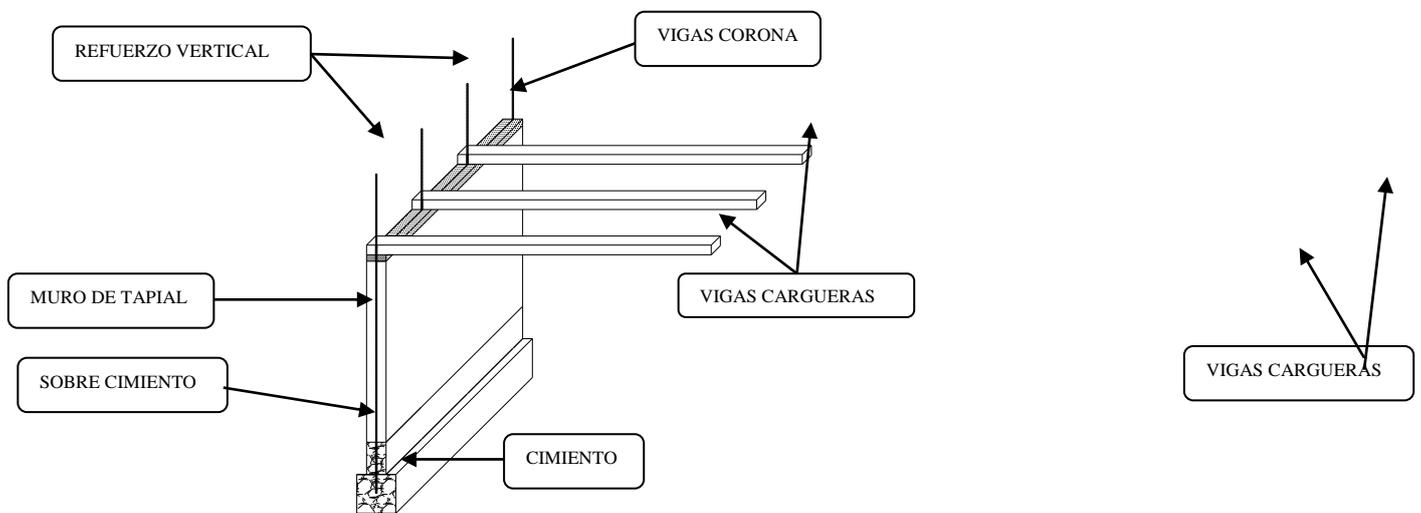
Para estas vigas se utiliza madera de sección rectangular (0.20m x 0.15m), la separación entre las vigas cargueras es de 0.50m.

Vigas Corona de Entrepiso.-

Las vigas corona de entrepiso se instalan sobre los muros cargueros y sirven de apoyo directo a las vigas cargueras de entrepiso, transmitiendo las cargas tanto verticales como horizontales a los muros cargueros.

Para este caso se propone vigas cargueras dobles que se instalan en forma paralela y simétrica en el muro carguero y entre ellas se encuentra

el refuerzo vertical. Estas vigas tienen por lo general dimensiones menores a las cargueras.



Unión Viga Carguera – Viga Corona.-

Esta unión se refuerza con un clavo de acero.

Unión entre Vigas Corona en Esquinas.-

Consiste en elementos de madera que unen en dirección diagonal las vigas corona.

Entrepiso.-

Los acabados de madera se construyen con listones de madera apoyados directamente sobre las vigas cargueras de entrepiso.

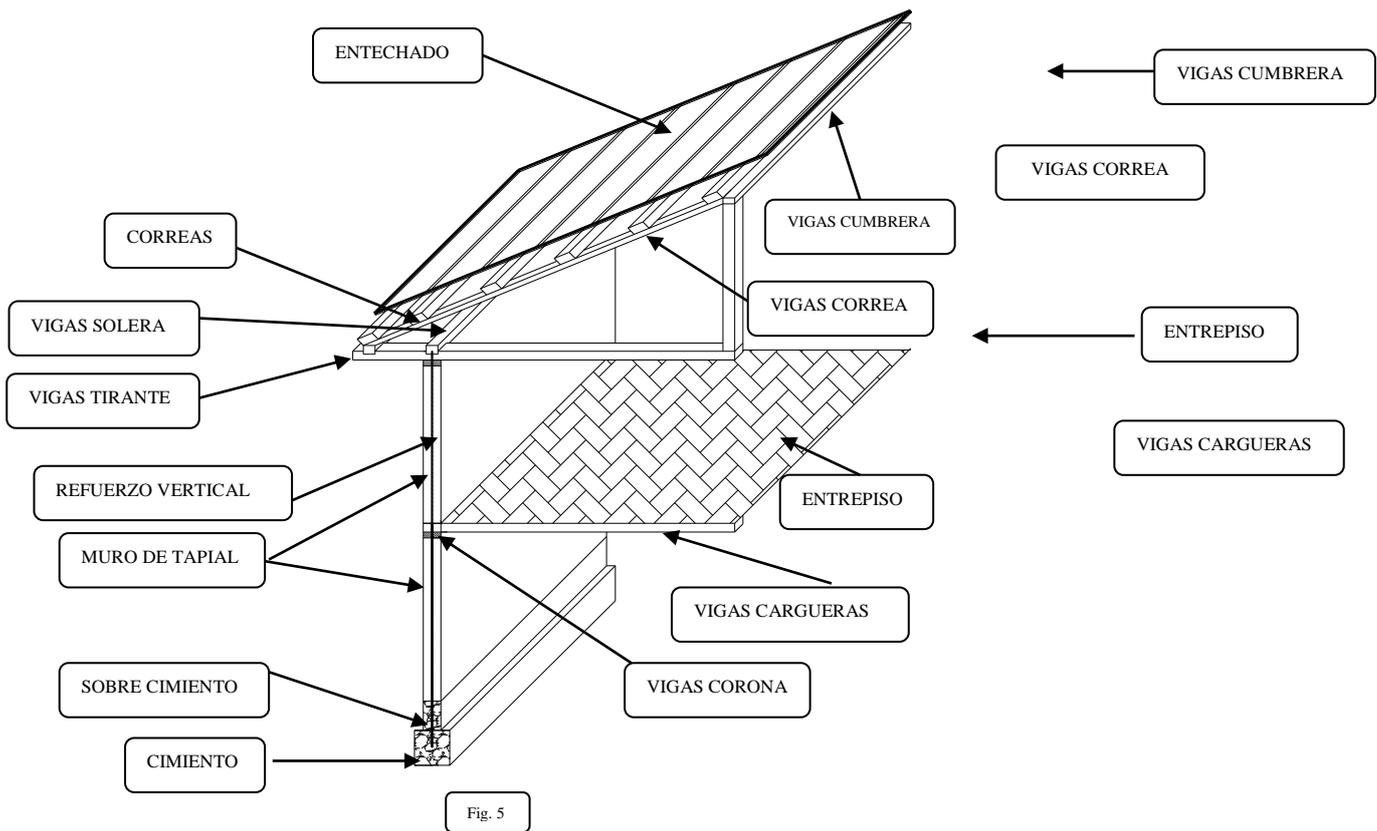
MUROS EN EL NIVEL SUPERIOR.-

Los muros del segundo piso son la continuación de los muros correspondientes en el primer piso conservando el mismo ancho y se apoya sobre las uniones de las vigas corona – carguera.

CUBIERTA.-

En la actualidad existen una gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En este caso se propone la denominada “viga – correa – tjera²⁶” que está compuesta por los siguientes elementos:

- Viga Cumbreira: que conforma la viga longitudinal principal y recibe las correas.
- Viga Correa: vigas principales que sostienen las vigas o listones tjeras del techo.
- Viga Tirante: vigas de madera que atraviesan el vano y reciben las vigas soleras.
- Viga Solera: vigas instaladas en las vigas tirantes y reciben las correas o tjeras.



UNIONES EN LA ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA.-

²⁶ CERESIS – Universidad Católica del Perú, Reforzamiento Sismo-resistente de viviendas de adobe existentes en la región andina, 1999 - Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica – AIS, manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2001

Las uniones se realizan mediante cajas en la viga tirante y en la viga solera y clavos de hierro para garantizar un buen ajuste entre los elementos.

ENTECHADO.-

Consiste en un encañado amarrado con fibra natural apoyado sobre las vigas correas y sobre este se puede colocar teja de barro.

5 COMPETITIVIDAD ECONÓMICA DE LOS MUROS EN TAPIA.

Según varios conocedores del tema de construcción en tierra, hablar de casas hechas en adobe, tapia pisada o bloque de tierra es referirse a la vía más económica y ancestral que se conoce en cuanto a la arquitectura.

Las primeras edificaciones en adobe se construyeron 7 mil años A.C. Hoy se levantan construcciones en adobe en países como Irán, Afganistán e Iraq.

En América Latina hay ciudades construidas con este mismo material, como Antigua, en Guatemala, declarada Patrimonio Histórico de la Humanidad

Para la profesora Sánchez, la historia de estos materiales esconde técnicas tan antiguas como también modernas. "Hay entre 12 y 34 métodos para construir con tierra, entre los que existen algunos sistemas, como los moldeados directos, con los que se construyeron algunas de las mezquitas más famosas en el mundo".

VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS MUROS CON TAPIA

- ✓ El Tapial es un tipo de construcción en base a tierra húmeda apisonada, muy usado en nuestro país debido a la rapidez en su construcción y a su bajo costo
- ✓ El tapial posee una baja dilatación térmica, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de 56 decibelios en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz. Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento. A menudo podemos comprobar la dificultad que supone picar en las paredes de las casas de nuestros pueblos, a pesar de la aparente fragilidad que a simple vista puede representar.
- ✓ Las construcciones llevadas a cabo con esta técnica tienen propiedades bioclimáticas ya que hacen "efecto botijo" o "vasija de barro", manteniendo una temperatura relativamente estable en su interior durante todo el año, tanto en verano con calor extremo, como en invierno con un frío intenso. En los trópicos la temperatura media del año es de unos 25° C, independientemente de las temperaturas externas.
- ✓ Por su bajo costo se perfilan también como una solución digna para las construcciones de carácter social. Sin embargo, la construcción ecológica no está basada en los números sino en una filosofía de vida sostenible.
- ✓ En la bioconstrucción se utilizan materiales naturales que no necesitan consumo de energía calórica: el barro no contamina y significa un ahorro energético, mientras que la industria de la construcción tradicional consume el 50% de la energía empleada en el mundo.
- ✓ La tierra prensada posee una muy elevada masa térmica (es decir, habilidad para almacenar calor). En los países de clima frío, esto constituye un invaluable recurso en los diseños de sistemas pasivos de energía solar. Durante el invierno, la pared actúa como un acumulador de energía calórica a los rayos del sol, que luego irradia al interior de la edificación compensando el incremento de frío en la temperatura ambiental y actuando como un regulador climático en la edificación. Durante el verano, el diseñador debe prever adecuada

protección solar sobre las paredes (prolongación de quebrasoles y otros recursos que impidan el recalentamiento excesivo de las paredes de la edificación). De existir una marcada caída de temperaturas nocturnas con relación a las diurnas las paredes "respirarán" hacia afuera el exceso de calor acumulado durante el día antes de que el mismo haya logrado penetrar al interior de la edificación.

- ✓ Un manejo apropiado de la ventilación de los espacios de la vivienda puede mantenerlos frescos durante las horas diurnas.
- ✓ Otros beneficios incluyen: el uso de la tierra como recurso afín al ambiente; bajo mantenimiento; solidez y sentido de estabilidad y permanencia derivado de la forma construida; ambiente saludable interno; ahorros y economías en cuanto a la administración del sistema de aire acondicionado de la edificación; adecuada protección climática, paredes contra incombustibles y protección a la penetración de insectos a su interior.

HERRAMIENTA MÍNIMA

Las herramientas presentadas han sido presentadas durante más de dos siglos en las provincias de León y alvernia. Describiremos otras herramientas provenientes de regiones o países diferentes, con el fin de comprender mejor las variaciones de la puesta en obra de esta técnica.

- Agua
- Pala
- Pico
- Encofrado madera
- Pisón
- Cuñas
- Riostras
- Concreteira (opcional)

COMPETITIVIDAD DE UN MURO DE TAPIA

a) Independencia y disponibilidad.

- ✓ Un factor importante a favor del barro es su independencia y la abundancia, disponibilidad y uso de su materia prima con fines de participación comunitaria y de su uso por mano de obra no especializada.

b) Trabajabilidad.

- ✓ En el caso del adobe tradicional, otro beneficio lo constituye la facilidad para cortarlo, tornearlo o ajustarlo dimensionalmente.

c) Costo de fabricación.

- ✓ Las tecnologías tradicionales del barro aquí tratadas (adobe, bahareque, barro prensado) no presentan exigencias energéticas que no sean el uso del sol como fuente de secado. Esto representa un ahorro significativo con relación a otras tecnologías.
- ✓ En el caso específico del adobe tradicional como material de construcción el ahorro del costo energético en su producción es factor decisivo, máxime si se toma en cuenta que el "quemado" del ladrillo rojo de arcilla representa el 40 % de su costo. Si comparamos los valores energéticos requeridos para producir ambos materiales encontraremos que son de 2.000 Btu para el adobe contra 30.000 para el ladrillo de horno.

d) Insonorización y climatización.

- ✓ El uso del barro en construcción representa un buen aislante acústico y, aún cuando no puede ser clasificado como un buen aislante térmico en regiones donde hay diferencias marcadas día-noche en la temperatura ambiental exterior, la pared de barro actúa como un regulador ambiental en materia de climatización interna.

e) Sentido ambientalista.

- ✓ Desde el punto de vista de la creciente conciencia ambientalista que caracteriza a la arquitectura actual el barro se agrupa con las tecnologías ambientalmente correctas en razón de su auto reciclaje.

6 BIBLIOGRAFÍA

MINKE, GERNOT 2001 Manual de Construcción con Tierra Editorial Nordan, Montevideo 222 p.

MINKE, GERNOT 2000 Daecher begruenen (Techos verdes) Okobuch Verlag, Staufen, 93p.

HUBER-KLEESPIES-SCHMIDT 1997 Neues Bauen mit Lehm (Nuevas construcciones con barro) Okobuch Verlag, Staufen, 103 p.

SCHILLBERG-KNIERIEMEN 1993 Naturbaustoff Lehm (Construcciones naturales con barro) AT, Zurich, 160 p.

ACEVEDO J. 2002 Programa de Maestría en Construcción Civil y Desarrollo Sustentable UNL Loja – Ecuador.

HERNÁNDEZ R 2003. Metodología de la Investigación 3ª edición México D.F. Mc Graw-Hill, 705p.

SECOFI, D.G.N 1976 NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-C-6-1976. Industria de la Construcción –ladrillo y bloques cerámicos de barro, arcilla o similares. Ed. Dirección General de Normas de la SECOFI. México, D.F. 10 Pp.

GRACIELA MA VIÑUALES 1991 RESTAURACIÓN de ARQs de TIERRA 65p.

CÓRDOBA-REPÚBLICA ARGENTINA 1991 Publicación del I CONGRESO LATINOAMERICANO de la CONSTRUCCIÓN (Tomos I y II).

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 2001 Manual Estabilización de tierra con Cemento.

CRATERRE 2000 Arquitectura en Tierra. 385 p.

MIRTA E. SOSA 2002 LA ARQUITECTURA POPULAR DEL VALLE CALCHAQUÍ. LA VIVIENDA, TRADICIÓN Y MODERNIDAD. Seminario La Arquitectura de Tierra en la Construcción del Hábitat. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán.

ROSARIO ETCHEBARNE, GABRIELA PIÑEYRO, ANA BEASLEY, 1997 MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE Universidad de la República, Facultad de Arquitectura Regional Norte, Salto – 61 páginas.

CERESIS – 1999 Universidad Católica del Perú, Reforzamiento Sismo-resistente de viviendas de adobe existentes en la región andina – Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica – AIS 2001, manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.

