

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTES
CARRERA DE ARQUITECTURA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN - INVESTIGACIÓN
“LINEAMIENTOS APLICABLES PARA LA NORMALIZACIÓN DE
CONSTRUCCIONES CON TIERRA, ESPECÍFICAMENTE DEL
SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL ALTERNATIVO
EN LA REGIÓN ORIENTAL DEL PARAGUAY”

GRADO PRETENDIDO: ARQUITECTA

AUTOR:
RAQUEL MARÍA ALEGRÍA GARAYO

TUTOR:
PROF. DR. ARQ. LUIS SILVIO RÍOS CABRERA

San Lorenzo - Paraguay

Noviembre 2017

AGRADECIMIENTOS

A esta casa de estudios y a todos y cada uno de los profesores que contribuyeron con mi formación y crecimiento profesional, a mis compañeros de estudio. Agradecimiento especial a mi tutor, el Prof. Dr. Arq. Silvio Ríos, quien me ha guiado en este trabajo y al Arq. Guillermo Godoy.

Agradezco a mis familiares quienes me han dado el apoyo incondicional durante mi carrera y a Dios por guiarme en este camino. Me han dado la motivación y la voluntad de luchar por mis sueños.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre Yolanda y a mi compañero de vida Ueli.

ABSTRACT

La tierra como material constructivo ha sido utilizada por mucho tiempo hasta la actualidad. Varias técnicas constructivas ancestrales se han ido innovando con respaldo de estudios científicos para adaptarlas a nuevas necesidades. Existe una tendencia mundial para producir y utilizar materiales que sean más amigables con el medio ambiente, alternativas más sustentables.

Son pocos los países que ya cuentan con normativas para la utilización de dicho material en Latinoamérica y varios tienen el deseo de paliar esta carencia.

A nivel nacional se van dando casos de obras contemporáneas que emplean el suelo-cemento. A través de estas experiencias, se toman como punto de partida, los aportes que puedan ser útiles a tener en cuenta en la elaboración de una normativa.

En el Paraguay existen algunos materiales teóricos y manuales de producción local referentes a las diversas técnicas utilizadas en el empleo de la tierra como material de construcción. Empero ninguno llega a exponer los estándares mínimos para su normalización.

La intención de este trabajo es proponer lineamientos aplicables a la normalización de construcciones con tierra, específicamente del suelo-cemento como material alternativo en la Región Oriental del Paraguay, como zona no sísmica.

Existe la gran posibilidad de aporte en el país en el campo de la investigación, para la elaboración en un futuro, con suerte no muy lejano, de una normativa para la construcción con tierra y el suelo-cemento.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE.....	6
Listado de gráficos.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
Fundamentación.....	10
Objetivo Principal.....	10
Objetivos específicos.....	11
Metodología de la investigación.....	11
Alcance.....	12
CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO.....	13
Materiales alternativos.....	13
UTILIZACIÓN DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO.....	14
La tierra como material sostenible.....	16
TIPOS DE CONSTRUCCIONES EN TIERRA: TAPIAL Y BTC. CON SUELO-CEMENTO.....	19
BTC (bloque de tierra comprimida).....	19
Tapial.....	19
Suelo-cemento.....	20
Controles recomendados en la construcción con tierra.....	21
Situación en Latinoamérica. normativas para el uso de la tierra y suelo-cemento.....	22
SITUACIÓN EN EL PARAGUAY.....	25
Utilización de la tierra como material constructivo.....	25
Investigaciones en Paraguay.....	28
Déficit habitacional y el uso de la tierra en el Paraguay.....	33
El país suplica una solución rápida al crecimiento de la demanda habitacional.....	35
CAPÍTULO II - NECESIDAD DE NORMATIVAS A NIVEL NACIONAL PARA EL USO DE TIERRA Y SUELO-CEMENTO. ESTADO DEL ARTE.....	37
Ordenanzas que contemplan al suelo-cemento en las normativas locales.....	37
CAPÍTULO III - EXPERIENCIAS CONSTRUCTIVAS REALIZADAS EN LA REGIÓN ORIENTAL DEL PAÍS QUE RECURREN A LA TIERRA Y AL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	39
Caso Obra 1: Obra Takurú.....	40
Caso Obra 2: Centro Educativo Mbaracayú.....	44
Caso Obra 3: Proyecto Oga'i.....	47
Caso Obra 4: Escuela Básica Unión Europea.....	51
Caso Obra 5: Vivienda Dahuss Vega.....	55
CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA PARA LOS LINEAMIENTOS.....	58
CAPÍTULO IV - LINEAMIENTOS PARA UNA NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA PARA LA REGIÓN ORIENTAL EN EL PARAGUAY, ESPECÍFICAMENTE SUELO-CEMENTO.....	59
Requisitos generales para la construcción con tierra y suelo-cemento.....	59
El Suelo.....	60
Composición granulométrica.....	61
Plasticidad.....	63
Retracción.....	64
Humedad y Compactación.....	65
Selección y estabilización de la tierra. Del laboratorio al campo.....	67
El agua.....	70
Muestreo.....	71
Dosificación.....	81

Humedad.....	82
Compactación	82
Mantenimiento.....	83
CAPÍTULO V - CONCLUSIÓN.....	84
Resultados obtenidos.....	85
Protagonistas del cambio.....	86
Gobernaciones locales como impulsores de la normativa	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
TERMINOLOGÍA	92
ANEXOS	100
Anexo 1: Prevención, Conservación y Restauración.....	101
Anexo 2: Requisitos Generales para construcción con tierra.....	105
Anexo 3: Tablas para ensayos tierra	119
Anexo 4: Ejemplo de planilla para registro y evaluación de los test.....	120

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Emisiones de CO ₂ de los distintos materiales	18
Tabla 2 Resistencia a compresión simple de algunos sistemas de construcción con tierra	30
Tabla 3: Informe de ensayos de morteros con cal y cemento	32
Tabla 4: Datos Censales sobre Viviendas con paredes exteriores de tierra en el Paraguay	34
Tabla 5: Resistencia a la compresión de ladrillos para la construcción	54
Tabla 6: Resumen de Resultados obtenidos del análisis de las obras	58
Tabla 7: Clasificación granulométrica de los constituyentes del suelo.....	63
Tabla 8: Clasificación de los suelos en función de los índices de plasticidad.....	64
Tabla 9: Test del cordón.....	75
Tabla 10: Test de exudación	76
Tabla 11: Test de la cinta	77
Tabla 12: Test de la resistencia seca.....	77
Tabla 13: Identificación de las técnicas constructivas en función de los resultados de test	78
Tabla 14: Estabilización de tierra según los test de campo.....	79
Tabla 15: Test del rollo	80
Tabla 16: Test de la caja	81

LISTADO DE GRÁFICOS

Ilustración 1: Mapa de Suelos del Paraguay.....	27
Ilustración 2: Bloquera CINVA-RAM	29
Ilustración 3: Ensayo de sedimentación.....	62
Ilustración 4: Estado del suelo en función de su contenido de humedad.....	63
Ilustración 5 Ensayo de determinación del Límite de Liquidez (LL)	64
Ilustración 6: Ensayo de determinación del Límite de Plasticidad (LP).....	64
Ilustración 7: Diagrama representativo de relación entre el límite de retracción (LR) y variaciones de volúmenes de la tierra y del agua evaporada durante el proceso de secado.	65
Ilustración 8: Proceso del muestreo de la tierra.....	71
Ilustración 9: Caracterización por tamaño de partículas.....	72
Ilustración 10: Test de la bola.....	73
Ilustración 11: Test del frasco de vidrio.....	74

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo la construcción con tierra ha tenido un lugar protagónico a lo largo de los tiempos. En varios sectores de Sudamérica hay una amplia variedad de obras construidas en tierra con técnicas constructivas adaptadas a la zona donde se encuentren, según las diferentes necesidades y requerimientos de cada sitio. Los conocimientos constructivos mayormente se han transmitido a través del saber popular de generación en generación hasta hoy.

La tierra como material constructivo puede ser empleada en varias técnicas constructivas. Es importante la previa selección del suelo y su estabilización para ser utilizada, según los requerimientos de la técnica a emplearse. En este trabajo se toman como casos de estudio las técnicas constructivas del tipo tapial y el bloque de tierra compactada (BTC) que emplean el suelo-cemento.

Actualmente la construcción con tierra sigue ocupando un lugar importante y requiere de acompañamiento técnico apropiado en conjunto con una normalización adecuada que pueda ser aplicada a nuevas construcciones.

A nivel nacional se van dando casos de obras contemporáneas que emplean este material y técnicas constructivas. A través de estas experiencias, tomaremos como punto de partida, los aportes que puedan ser útiles a tener en cuenta en la elaboración de una normativa.

Se cree que esta normalización de dicho material podría ser beneficioso principalmente para combatir el déficit habitacional, por sus varias propiedades positivas y además por su fácil acceso y economía. Existe un creciente interés

por volver a reivindicar el material, sin embargo, carece de normativas que acompañen el quehacer de quienes lo utilizan. Son pocos los países que ya cuentan con normativas en Latinoamérica y varios tienen el deseo de paliar dicha carencia.

FUNDAMENTACIÓN

El conjunto de normativas y disposiciones legales que existen actualmente dedicadas a pautar la utilización de la tierra como material constructivo en el Paraguay, específicamente en la Región Oriental, necesitan de mayor respaldo científico.

El suelo-cemento es normalmente utilizado para pavimentación en obras públicas y sigue siendo discriminado para su utilización en la producción de viviendas por su factor tiempo de elaboración y principalmente por la falta de justificación científica, ya que sigue siendo bastante artesanal.

En referencia a la construcción con tierra, en el Paraguay existen algunos materiales teóricos y manuales de producción local referentes a las diversas técnicas utilizadas. Empero ninguno llega a exponer los estándares mínimos para su normalización.

La intención de este trabajo es aportar conceptos útiles para ponerse al servicio de quienes quieran elaborar una normalización del material dirigida a la Región Oriental del Paraguay.

Se opta como sitio de estudio el sector de la Región Oriental del Paraguay, ya que es donde se sitúa la mayor parte de población del país y, por ende, donde se sitúa el mayor porcentaje de déficit habitacional.

OBJETIVO PRINCIPAL

Proponer lineamientos aplicables a la normalización de construcciones con tierra, específicamente del suelo-cemento como material alternativo en la Región Oriental del Paraguay.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado del arte de la normalización de la construcción con tierra en el Paraguay, ya que no hay una normativa acabada para la construcción con dicho material.
- Examinar experiencias constructivas realizadas en la región Oriental del país que recurren a la tierra y al suelo-cemento como material de construcción.
- Identificar las patologías que presentan las experiencias examinadas que recurren al suelo-cemento como material de construcción con las recomendaciones a tener en cuenta para los lineamientos de una posible normativa.
- Elaborar lineamientos para una normativa de construcción con tierra, para la región Oriental en el Paraguay, específicamente suelo-cemento como material alternativo.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se inicia con la recolección de datos primarios como bibliografía de investigadores con información base, acceso a reglamentaciones de interés, comparación entre reglamentos, acceso a relevamientos, materiales provenientes de conferencias, entrevistas con autores de las obras de interés, entre otros. Es importante comprender los antecedentes y estado del arte del tema de estudio.

La metodología de investigación aplicada ha sido empírico-analítica. Se estructura este estudio analizando la situación latinoamericana, a nivel país y haciendo hincapié en la región Oriental del país. Posteriormente, se ha realizado un análisis comparativo de las normativas analizadas y aplicables al Paraguay, específicamente a la Región Oriental, como zona no sísmica que emplea el suelo-cemento.

En esta investigación, se han tomado obras contemporáneas paraguayas como casos de estudio. Con ellas se pretenden tener en cuenta

sus experiencias para en el futuro, mejorar y optimizar los usos de los elementos objeto de estudio.

Una vez estructurada la propuesta de lineamientos, se procederá a socializar la información, de tal forma a sistematizarla para dar inicio a lo que sería una posible normativa a servicio de los constructores de esta sociedad desde un enfoque aplicable a la realidad del país en obras.

ALCANCE

A partir de esta exploración, se detectarán los elementos faltantes para la elaboración de una normativa, demostrando la necesidad de contar con un marco legal, que amplíe el universo profesional del arquitecto. Llegando así a una aproximación a datos técnicos normalizados para la utilización de estos materiales.

Con este trabajo se busca sentar las bases para los lineamientos de una posible normativa.

La presentación de los lineamientos dictará la manera de abordar una revisión y actualizar las normativas vigentes para la utilización de la tierra y suelo-cemento como materiales constructivos.

Existe la gran posibilidad de aporte en el país en el campo de la investigación, ya que la base teórica-práctica es aún muy escasa, y de los posibles aportes que son necesarios para la elaboración en un futuro, con suerte no muy lejano, de una normativa para la construcción con tierra y el suelo-cemento.

CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO

MATERIALES ALTERNATIVOS

Es difícil definir qué son los materiales alternativos. Dependiera de quién lo diga. Los materiales autóctonos, podrían llamarse alternativos. Los materiales y tecnologías ajenas al saber popular son también alternativos a la realidad local. Se podrían denominar a los materiales que son necesarios para realizar una obra, que no son comúnmente utilizados por *la mayoría*.

“La tecnología formal de nuestros países, la tecnología del sector informal, las tecnologías autóctonas y la tecnología actual de los países hegemónicos están confrontándose en una complicada puja por la construcción y definición del hábitat (...)” (Pelli, 1986).

La tierra se ha utilizado por siglos y se sigue utilizando. La tierra es considerada como un material alternativo ya que es una opción diferente en relación a los materiales comúnmente utilizados en la actualidad. Se están innovando varias técnicas constructivas ancestrales con respaldo de estudios científicos para adaptarlas a nuevas necesidades de los tiempos actuales.

Viéndolo desde la perspectiva económica, podrían ser los materiales sustitutos a aquellos que escasean en el mercado, o por su alto valor económico, son sustituidos por otras opciones más económicas y accesibles.

Hay una tendencia mundial en producir y utilizar materiales que sean más amigables con el medio ambiente, sustituyendo aquellos de uso masivo por las imposiciones de moda y tecnologías que venden a los países en vías de

desarrollo como los *mejores*, sin embargo, las alternativas más sustentables se encuentran frente a las narices de los consumidores.

La tierra como material alternativo de construcción, es una opción más para hacer posibles obras igualmente aptas en relación a aquellos materiales y las tecnologías importadas.

UTILIZACIÓN DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

La tierra se ha utilizado como material constructivo desde el inicio de los tiempos. Entre un tercio y la mitad de la humanidad habita espacios construidos por tierra. Varios de estos ejemplos están de pie aún y se pueden contemplar en varios puntos del planeta. A pesar de la dificultad para fecharlos con exactitud, se cuentan con evidencias suficientes que permiten sostener un uso durante por lo menos cuatro mil años, en el Perú, Guatemala, Bolivia o en el sur de México. Después de su época de abandono, las ciudades antiguas fueron sepultadas por sus propios escombros y afectadas por la erosión y material vegetal, haciéndose difícil poder identificarlas, en especial las construidas en su totalidad en tierra.



Foto 1: "Estructura 12" Data de 600-900 a.C. en el sitio Joya de Cerén en El Salvador. Fuente: Mariana Correia. Foto 2: Sistema de celosías y decoraciones en relieve del Palacio Tschudi en Chan Chan, Perú, 2009. Fuente: Luis Guerrero. Foto 3: Ruinas de Chincana en el camino del Inca, Bolivia. Fuente: Ulrich Eggimann.

En Latinoamérica hay varios edificios de tierra catalogados como patrimonio de la humanidad. Hay cierta dificultad para mantener estos edificios por las condiciones específicas en las que se hallan, ya sean cubiertas como yacimientos arqueológicos o como patrimonios habitables. Algunas de ellas ocupan kilómetros de extensión como ciertos templos de culto y otros son de menor escala como unidades habitacionales pequeñas. Por citar algunos ejemplos en los centros históricos, paisajes culturales, sitios arqueológicos e itinerarios culturales, tales como: el sitio arqueológico pre colombino de Joya de Cerén en El Salvador, la ciudad precolombina de adobe Chan Chan en Perú,

numerosos centros históricos de la época colonial construidos con tierra en Brasil, Valparaíso en Chile, en Quito y Cuenca en Ecuador, monumentos culturales integrando edificaciones en tierra en Argentina, la ciudad histórica colonial de Antigua en Guatemala, centros históricos y predios arqueológicos todos de tierra y el itinerario cultural de arquitectura en tierra en México, sitios arqueológicos y centros urbanos en Perú, y Venezuela con los centros históricos de Coro y La Vela en arquitectura vernácula de tierra.



Foto 4: Basílica e Monasterio de São Bento (1599) en el Centro histórico de Olinda, Brasil es Patrimonio Histórico de la Humanidad de la UNESCO. Fuente: Raquel Garayo. Foto 5: Centro Histórico de La Antigua Guatemala (1543). Fuente: Vico Galán de El mundo a tus pies. Foto 6: Centro histórico de Coro y La Vela en Venezuela. Fuente: Hoteles 24.

En América Latina, los sistemas de construcción más comunes como son la tierra apisonada, adobe y las técnicas mixtas.

Existen varios términos diferentes para referirse a técnicas constructivas semejantes según la región, como por ejemplo el caso del bahareque, babareque, quincha o fajina, entre otros. Con el objetivo de ampliar los aportes investigativos en esta área, la Escola Superior Gallaecia, para el proyecto Proterra con la participación de 18 países Iberoamericanos elaboraron un documento de terminología específica en Arquitectura de Tierra.¹

La combinación de sistemas constructivos también fue muy utilizada. Las bases de las construcciones podrían variar desde sencillos cimientos hasta robustos basamentos piramidales, algunos poseían mamposterías de piedra asentadas con morteros térreos para recibir posteriormente estructuras de adobe o tierra modelada, coronada finalmente con entramados ligeros y embarrados. Se otorgaba gran estabilidad del conjunto, con dosificaciones que rigidizaban la tierra y teniendo en cuenta el centro de gravedad de las estructuras.

¹ Terminología específica en Arquitectura de Tierra. Ver Glosario página 92.

Otra técnica muy valiosa y poco estudiada en la región que es la tierra modelada in-situ, que solía coexistir con otros sistemas constructivos, generalmente utilizado como tabiques divisorios, agregados superficiales y esculturas. Sin embargo, existen sitios sorprendentes por su extensión y calidad constructiva hechos únicamente con este procedimiento. Algunos de estos patrimonios son: Paquimé, en el norte de México, Tulum en Chile, las cuevas de La Poma en Argentina, Joya de Cerén en El Salvador y el paseo del Inca tramo del Qhapac Ñan, Perú. Son muestras de la calidad constructiva y experiencia en la edificación de estructuras monolíticas de barro.

Aunque la tierra compactada se haya utilizado bastante en la región, para realizar plataformas, rampas o terraplenes, no se cuenta con evidencias tangibles del manejo de sistemas de encofrados o pisonos característicos de los muros de tapial. (Correia, Neves, Guerrero, & Pereira Gigogne, 2016).



Foto 7: Tierra apisonada y tierra modelada in situ en Zona arqueológica de Paquimé, en el norte de México. Fuente: TRANSLAMEX.

Los diferentes países en la región tienen varios valiosos patrimonios, sin embargo, cuentan, en la mayoría de los casos, con capacidad limitada para gestionarlos. Uno de los factores es la falta de experiencia para una conservación efectiva de estos patrimonios. Este tema no se abordará por el tipo de enfoque que se toma en este trabajo, sin embargo se sugiere bibliografía de interés con respecto a este tema². Este trabajo está dirigido a construcciones nuevas con tierra.

LA TIERRA COMO MATERIAL SOSTENIBLE

La tierra es una alternativa de material de construcción con propiedades sustentables. Su gran disponibilidad y trayectoria lo convierten en un material amigable y ecológico para los humanos desde hace siglos.

² Bibliografía recomendada para Prevención, Conservación y Restauración: Anexo 1.

En la antigüedad, las primeras casas y ciudades se construyeron con tierra cruda, varias de ellas persisten hasta nuestros días. Hoy se emplean materiales que requieren de procesos de fabricación complejos y que no son fáciles de reciclar.

La predisposición de simplificar las cosas del ser humano, el asumir estándares complejos catalogándolos de buenos y sin mucha información al respecto, ha contribuido por décadas a dejar de lado a la tierra y a atribuirle conceptos de riesgos de salud, pobreza y de permanencia en el tiempo.

Hoy, en el siglo XXI la construcción a nivel mundial busca realizar obras teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad. La tierra cruda ofrece esta chance de ayudar a la disminución del impacto ambiental en la edificación. Se citan a continuación las ventajas del material.

- La fuente de abastecimiento del material es ilimitada. Analizando los tipos de tierra se pueden incorporar mejoras a nivel granulométrico y de composición.

- Las tecnologías constructivas son sencillas, sin necesidad de cocciones por combustión y alto consumo energético. A diferencia de los ladrillos o el hormigón, la energía utilizada en la producción es muy baja.

- No se originan emisiones tóxicas durante el proceso de elaboración ni durante su vida útil.

- La fuente de extracción puede ser la misma localización de la obra, así el impacto ambiental durante el transporte y el impacto paisajístico en la producción es prácticamente nulo, favoreciendo la reducción de residuos de la obra y los gastos en transporte.

- El consumo de agua en la producción y en obra es característicamente bajo en el tapial y BTC donde la tierra se trabaja con una humedad cercana al 10%.

- Las demoliciones y desechos del material como piezas rotas o sobrantes pueden reintegrarse al mismo emplazamiento. No precisan de tratamientos especiales para reintegrarse a la tierra y reduciéndose así los

residuos. La demolición de un elemento de tierra se puede realizar con medios mecánicos, sin precisar de energía excesiva.

- En caso de un material estabilizado con cemento o cal, la proporción del estabilizante (5-10%) es suficientemente baja como para no suponer ningún riesgo para ningún entorno natural. Ello permite la regeneración de la masa vegetal.

- En el análisis de la sostenibilidad de los materiales de construcción en el cálculo de las emisiones de CO₂, la tierra tiene emisiones más bajas que otros materiales convencionales como el hormigón (en obra y en la producción del material).

Tabla 1: Emisiones de CO₂ de los distintos materiales

Material	Densidad	Emisiones por kg	Emisiones por m ²
Tapial (sin estabilizar)	2.200 kg/m ³	0,004 CO ₂ /kg	9,7 kg CO ₂ /kg
Adobe	1.200 kg/m ³	0,06 CO ₂ /kg	74 CO ₂ /kg
Hormigón en masa in situ	2.360 kg/m ³	0,14 CO ₂ /kg	320 CO ₂ /kg
Hormigón prefabricado, 2% de acero	2.500 kg/m ³	0,18 CO ₂ /kg	455 CO ₂ /kg
Muro de ladrillo macizo	1.600 kg/m ³	0,19 CO ₂ /kg	301 CO ₂ /kg
Muro de ladrillo hueco	670 kg/m ³	0,14 CO ₂ /kg	95 CO ₂ /kg

Fuente: S. Bestraten; E. Hormías; A. Altemir, 2010

Este tema creó una preocupación mundial ya que el 5% de las emisiones de CO₂ son causadas por la producción de cemento en términos tradicionales. Para tener una idea de la polución que se crea con el cemento, la Industria Nacional del Cemento del Paraguay este año alcanzó una producción de 50.000 bolsas de 50 kg al día cubriendo el 50% de la demanda del mercado y a esto se suma todo el cemento importado y lo que ingresa de contrabando.

Frente a esta realidad han surgido muchas iniciativas para promover una forma de habitar basada en la simplicidad tecnológica arquitectónica. Entre estas opciones está la construcción con tierra cruda o barro. Es un hecho que entre un tercio y la mitad de la población mundial vive en casas de tierra.

A partir de la década de 1960 se pueden ver propuestas de eco-barrios principalmente en zonas periurbanas y rurales. Se toman como punto de partida los oficios y saberes ancestrales, retomando la identidad regional innovando las tradiciones tecnológicas. La permacultura también cumple un rol importante como cuestionamiento y crítica al mundo capitalista que se da en la actualidad.

En los últimos años se ha iniciado un trabajo lento pero firme de distintos grupos de ecologistas, arquitectos e ingenieros civiles que investigan y llevan a la práctica distintas técnicas alternativas de construcción de bajo impacto ambiental. Cada vez hay más ciudades que cuentan con una ordenanza que habilita, reglamenta y promociona métodos de construcción sustentable realizadas con tierra cruda.

TIPOS DE CONSTRUCCIONES EN TIERRA: TAPIAL Y BTC. CON SUELO-CEMENTO

Son varias las técnicas constructivas que utilizan la tierra arcillosa como material principal como el adobe, el tapial y el bloque de tierra comprimido (BTC), entre otros. A continuación, se especificarán las técnicas constructivas caso de estudio.

BTC (BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA)

Son elementos prismáticos fabricados y utilizados en obras, obtenidos de la aplicación de presión a la tierra en el interior de un molde, mejorando las propiedades mecánicas del material. Suelen ser estabilizados con cal, cemento o yeso. Lo característico de este tipo de bloques de tierra, como indica su nombre, es que la tierra que los compone es compactada, por medios manuales o mecánicos. Pueden ser artesanales o industrializados. Las dimensiones adecuadas deben ser tales que el albañil pueda manejarlo con facilidad, son aproximadamente de 10 x 24 x 34cm.

TAPIAL

La técnica del tapial se basa en la compactación de la tierra húmeda por capas mediante su apisonado in situ. Se utiliza un encofrado desmontable tipo cajón de varias dimensiones, según los requisitos de la obra.

Su proceso de construcción incluye tres fases: montaje del cajón o encofrado relleno y compactación del mismo y desmontaje o desencofrado. El proceso de compactado se realiza tradicionalmente con un pisón o compactador manual y en la actualidad se utilizan vibradores y compresores automáticos.

SUELO-CEMENTO

El suelo cemento, es el material de construcción que se produce al mezclar tierra preseleccionada y estabilizada según los rangos aceptables para la técnica constructiva a ser empleada (libre de materia orgánica), estabilizada con determinadas cantidades de cemento, agua y eventualmente aditivos, mezcla que se compacta para obtener densidades altas y se somete a un proceso de curado para que se produzca su endurecimiento más efectivo. “Suelo estabilizado con cemento para mejorarle sus propiedades” Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2011).

Se recomienda una mezcla de tierra y cemento Portland en una relación 10:1 por volumen o peso equivalente. La tierra debe contener un 30% de limos y arcillas y el 70% arena. El agua se adiciona lentamente para lograr el fraguado del cemento de forma uniforme sobre la mezcla sin formar charcos para lograr humedad homogénea. El suelo-cemento se debe compactar en capas superpuestas de 0,15 m de máximo espesor con pisonos o equipo mecánico.

Los efectos del cemento en adición a la tierra son los siguientes: disminuye el peso específico seco, aumenta la resistencia a la compresión, disminuye la sensibilidad a la acción del agua, disminuye la retracción por secado y aumenta la resistencia a la erosión.

El suelo-cemento es un material de construcción alternativo a otros materiales de construcción tradicionales o prefabricados. Una de sus ventajas es su aspecto económico, al reducir los gastos de transporte, al situarse las obras en terrenos con suelos apropiados para tal finalidad. Tratar de obtener suelo-cemento con suelos no aptos, implica adicionar estabilizantes y aumentar su costo, por los materiales de préstamo empleados y su transporte.

El uso de elementos constructivos de suelo-cemento debe estar condicionado a un adecuado comportamiento del material por lo que el diseño estructural y arquitectónico debe tener en cuenta sus características como la resistencia a la compresión (80-100 kg/cm²). En el proceso de fabricación de elementos constructivos de suelo-cemento es importante la compactación para garantizar la calidad de los mismos. Se debe tener en cuenta que el material es

poco resistente a la flexión y en elementos de dimensión mayor a 0.50 y secciones de 0.20 m, es conveniente el añadir fibra vegetal, como paja, para su manipulación.

Cuando el material es de préstamo, el precio unitario incluirá suministro, transporte, almacenamiento, preparación, dosificación y mezcla de los materiales; la colocación, conformación y compactación del material; los ensayos, equipo, herramienta y mano de obra; y todos los costos directos e indirectos necesarios para la correcta ejecución de la actividad.

Unidad de medida para pagos del suelo cemento

Se recomienda que su medida y pago sean por metro cúbico (m³), según planos y verificados en obra. No se pagarán sobre excavaciones o en reparaciones por los trabajos inadecuados. En el precio se deben contemplar todas las operaciones, ensayos, equipo, herramienta y mano de obra necesaria para la selección, almacenamiento y acarreo dentro de la zona de los trabajos, la colocación, conformación y compactación de los materiales seleccionados para el lleno y todos los costos directos e indirectos necesarios para la correcta ejecución de la actividad. Se debe tener en cuenta si la tierra está en el sector de obra o si es de préstamo, factor que afecta directamente sobre el costo.

CONTROLES RECOMENDADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

Es importante tener en cuenta las exigencias que garanticen la seguridad estructural, durabilidad de la obra y protegerla de los agentes climáticos, principalmente el agua. En la ejecución de la obra se utilizan sistemas de control similares a la de una construcción convencional como alineación de muros, escuadras, plomos, aspectos superficiales y protección de superficies al agua como por ejemplo aleros, cubiertas y terminaciones adecuadas.

Se debe verificar el proyecto para que cumpla con los requisitos básicos de construcción con tierra desde su inicio de ejecución, luego es importante saber seleccionar el tipo de tierra a utilizar y finalmente el acabado.

Si se utilizaran masivamente estabilizantes en obras de gran porte, se recomienda un estudio más detallado en laboratorios para no afectar la

economía de la obra. En ese caso, se deben marcar yacimientos y evaluar la cantidad de suelo disponible y los ensayos correspondientes para control e identificación de posibles variables que pudiesen afectar el comportamiento de la tierra. No se debe dejar de lado la capacitación de los operadores que ejecutarán la obra.

SITUACIÓN EN LATINOAMÉRICA. NORMATIVAS PARA EL USO DE LA TIERRA Y SUELO-CEMENTO

La tierra como material constructivo actualmente en Latinoamérica ha pasado a ser principalmente una experiencia en construcción de vivienda social o de costo bajo, siendo modificada según las necesidades de cada sitio. Se la asocia a un concepto de producción de viviendas de interés social, en el modelo de construcción asistida y auto-gestión principalmente en organizaciones sociales, paliando los déficits de vivienda muy demandadas en el sector.

Las políticas para la utilización de la tierra como sistema constructivo están en proceso. Existen vacíos normativos y legales para estos sistemas constructivos aplicables a las viviendas. Los principales impulsores de proyectos relacionados al tema, son las Organizaciones No Gubernamentales de ayuda al Desarrollo (ONGD). Las universidades cumplen un rol importante en las innovaciones constructivas con sus aportes investigativos.

Las técnicas constructivas que se han estado empleando y estudiando en la región son: adobe, tapia de espesores delgados, BTC (bloque de tierra compactada), tierra ensacada y técnicas mixtas (tierra-madera y tierra-acero) según las circunstancias e identidades particulares. Se tiene especial atención a los requerimientos de cada sitio para darle una identidad, economizando recursos de diferente tipo.

Se toma el ejemplo de Cuba, comenta Contreras Candia (Instituto de Investigaciones. Faculta de Arquitectura y Artes. Universidad Mayor de San Andrés y CYTED Red Habiterra, 2001, p.58) donde se ha afrontado el problema de la vivienda de una manera integral, sistemática y consecuente en sus diferentes aspectos. Primeramente, se promulgó la legislación sobre la

vivienda, el establecimiento de normas, el desarrollo de la industria de materiales, el desarrollo de nuevas técnicas y sistemas constructivos prefabricados, la formación de cuadros técnicos y mano de obra calificada, así como la creación de instituciones especializadas en el proyecto, la investigación y la construcción de la vivienda. En 1989 se crea la Comisión Nacional del Suelo-Cemento con el objeto de dirigir y desarrollar su aplicación en el país; con este motivo se realiza el primer Congreso Nacional de Usos del Suelo-Cemento. Ya en los '90 se publica el Manual de Suelo-Cemento y las primeras Normas Cubanas para dicho material. En la actualidad, debido a las dificultades económicas por las que atraviesa Cuba a causa del petróleo, el uso del suelo-cemento se ha generalizado. La técnica del bloque de suelo cemento y muros de tapial del mismo material son las técnicas más empleadas. La tecnología de suelo cemento, su bajo costo y uso masivo, posiciona a Cuba como uno de los países más avanzados en su uso de Latinoamérica.

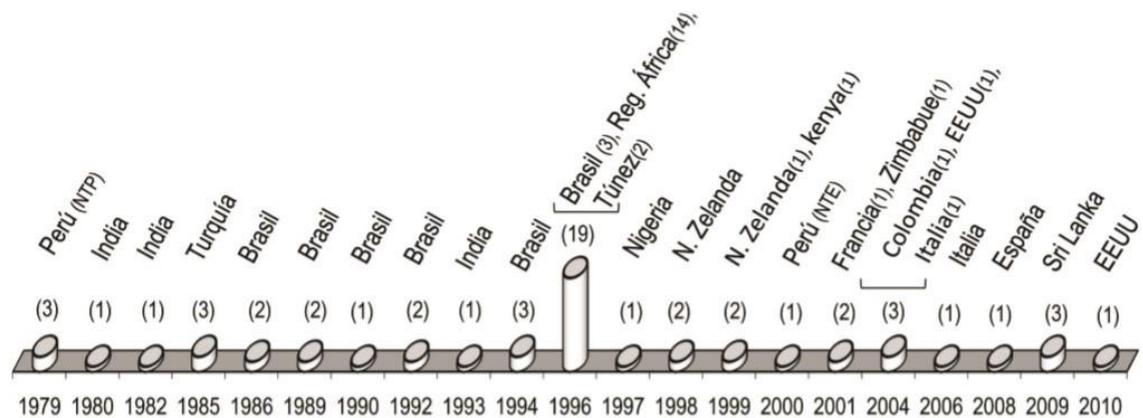
Argentina es uno de los pocos países que posee normativa para la construcción con tierra en la región. El 80% del sector rural utiliza la tierra como material de construcción y el 50% de este país tiene características sísmicas. La investigación ha dado grandes pasos, sin embargo, queda mucho por hacer. Su más reciente logro son los paneles de suelo-cemento con estructura de madera chaqueña con el sistema constructivo SUMMA, innovando en industrialización de las partes, según costumbres y requisitos ambientales para el sector: columnas de quebracho entre tapias de suelo-cemento reforzadas con dos tiras de alambre de púas cada metro con un espesor de 15 cm, con una viga tipo encadenado de entre columnas de quebracho colorado como aislación hidrófuga. La innovación fue la utilización de tableros de algarrobo como encofrado para tapias. Su edificación llevó 60 días.

En Brasil, se realizan experimentos con sistemas constructivos en base a tierra buscando la industrialización a través de construcción de ayuda mutua, con asistencia técnica. El Estado financió investigaciones tecnológicas para darle garantía técnica a soluciones como el BTC y la construcción con paredes monolíticas de suelo-cemento, buscando además economía para la demanda habitacional. Su uso aún es minoritario. Existen normativas vigentes

relacionadas al BTC principalmente y a la tapia con cemento. Existen además métodos de ensayo para suelo-cemento que están normalizados.

En Colombia las viviendas construidas con tierra son prejuizadas con respecto a su aceptación. A pesar de ello, en la década de 1950 se generó la bloquera o prensa manual de BTC llamada CINVA-RAM con impulso mundial. Fue muy utilizada en los ochenta para viviendas en situación de emergencia y urgencia habitacional con rechazo de los pobladores. Hasta la fecha se han construido algunas viviendas en BTC, tapial y técnicas mixtas de caña y barro.

Gráfico 1: Número de normas vigentes para construcción con tierra a nivel internacional



(N°): número de normas vigentes entre paréntesis.

Fuente: Ignacio Cañas (2011)

Actualmente en Latinoamérica se emplea la arquitectura en tierra principalmente explorando el material, teniendo en cuenta los diferentes factores locales, innovando la arquitectura vernácula y las de otras influencias, principalmente europeas. Todas estas acciones fueron impulsadas por la urgente necesidad de encontrar una opción más ecológica y económica en ayuda aquellos que necesitan un techo. En algunos países los fenómenos naturales impactantes hicieron posible ejecutar proyectos con este material, ya que ciudades enteras fueron arrasadas y fue una opción viable.

Los requerimientos técnicos y de diseño formal se ven muy marcados por situaciones particulares como sismos, zonas de mucho asoleamiento, sequía, humedad constante y lluvias copiosas. Las técnicas ancestrales van mejorando al integrar conceptos medioambientales, reciclaje y la semi-industrialización de partes donde la exploración formal es muy notoria. Se podría decir que, nace una nueva corriente arquitectónica donde se innova a la arquitectura folclórica

con nuevas mejoras de la edificación con tierra. Importantes impulsores fueron y siguen siendo las universidades y organizaciones sociales. Sin embargo, existe la carencia de una base suficiente de normativa constructiva.

Una de las situaciones que se da en América Latina es la problemática de la invasión de los modelos arquitectónicos de los países en vías de desarrollo, creando dependencias y subdesarrollo. Sin embargo, en varios países de esta región cuando se dan catástrofes como grandes terremotos, inundaciones o huracanes, el empleo de las técnicas constructivas con tierra son una opción ante tal situación. Gracias a ellas se impulsaron y promovieron de forma urgente la provisión de viviendas. Se la emplea a la tierra como técnica constructiva ante la crisis, sin embargo no existe una preocupación real en ayudar a resolver la necesidad de proveer viviendas a los necesitados como problema de raíz.

El siglo XXI se traduce en el despertar de una sociedad más sensible que se preocupa por el uso de materiales menos impactantes en la producción de su ambiente construido. La construcción con tierra está tomando de a poco mayor fuerza, no solo por sus posibilidades arquitectónicas, sino principalmente por su interacción amigable con el medio ambiente. Cada día se van sumando nuevos aportes como investigaciones de sistemas constructivos eficientes y estabilización de tierra con productos químicos o principalmente naturales disponibles en cada sector. Gracias a todo esto, se pueden ir elaborando normas y regulaciones técnicas de construcción, tan necesarias para impulsar a la tierra como material constructivo técnicamente legítimo.

Pereira Gigogne (2016) afirma, “La ausencia normativa y la aceptación social son importantes desafíos (...)” (p. 206).

SITUACIÓN EN EL PARAGUAY

UTILIZACIÓN DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

El Paraguay se encuentra en una región con rasgos peculiares bien diferentes a la de otras regiones de Latinoamérica. Su arquitectura inicial se caracterizaba por la utilización de técnicas mixtas de construcción con tierra y

maderas locales. Los asentamientos de viviendas se extendieron desde la Amazonía a las costas del Atlántico y a lo largo de los ríos Paraguay, Paraná y el Paraná Guasú. La construcción con tierra data de épocas ancestrales entre los aborígenes, facilitando su aceptación social principalmente para el sector rural, como material utilizado como legado cultural.

El país se halla ubicado entre los meridianos de 54° 19' y 62°38' Oeste y los paralelos del 19°18' y 27°30' Sur, con una superficie de 406.752 Km². Limita con Brasil, Argentina y Bolivia.

Dos regiones naturales bien diferenciadas ambientalmente, divididas por el río Paraguay. Una, la Región Occidental o Chaco, constituye una planicie aluvional con topografía plana casi en toda su extensión. La otra es la Región Oriental y comprende parte de las cuencas de los ríos Paraguay y Paraná y representa el 39% del total del país. En esta región se halla el 98% de la población. El clima del país se ha definido como subtropical continental; sin embargo, existen controversias acerca de si el clima paraguayo es tropical o sub-tropical. (Instituto Internacional para el Desarrollo y Medio Ambiente; Presidencia de la República, Secretaría Técnica de Planificación y Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de Norte América., 1985, p. 16). En la región Oriental el promedio anual de precipitaciones es de 2000 mm y la temperatura media varía entre 25 a 21°C, alcanzando máximas de 34°. Se han registrado temperaturas bajo 0 en todo el territorio nacional y es posible encontrar escarchas en casi todo el territorio durante el clima frío. Cuando las lluvias son intensas, que alcanzan 300 mm en horas, ocasionan inundaciones y grandes erosiones por el tipo de topografía de los suelos, factor importante a tener en cuenta a la hora de diseñar las viviendas construidas con tierra, ya que se deben prever buena cimentación, buena cubierta y protecciones necesarias contra las inclemencias del tiempo.

Ilustración 1: Mapa de Suelos del Paraguay



Fuente: Geología de Paraguay por FACEN

Anteriormente la Región Oriental era una selva húmeda con mucho verde. Ahora deforestado. Su condición de humedad permanente, no parecía ser el lugar ideal para construir con tierra cruda. Por la condición de alta pluviosidad, la arquitectura precolombina introdujo en su diseño altos zócalos, cubiertas vegetales y pronunciadas cubiertas. A la hora de iniciar una construcción, se empezaba el proceso por el techo, generalmente de grandes dimensiones y en algunos casos, era la única protección que poseía. El techo se asentaba sobre los horcones de madera, los muros no cumplían una función portante, sino de simple cierre, gracias a las maderas disponibles de muy buena calidad.

Un ejemplo a continuación, una vivienda localizada Maciel, Departamento de Caazapá, Paraguay.

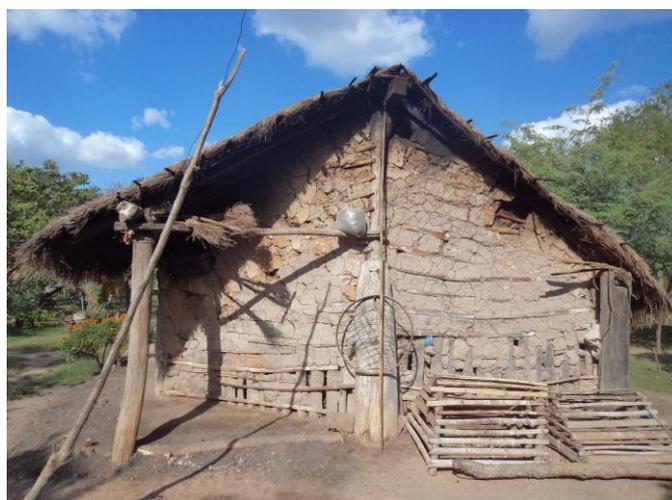


Foto 8. Fuente: Elaboración propia (2014).

Con el paso del tiempo la construcción con tierra evolucionó con la influencia de los españoles y la colonización. Más tarde, cerca de los años 1850, hubo un cambio radical en la construcción en Paraguay en la época de Don Carlos Antonio López. Los BTC y otras técnicas quedaron de lado y se impulsó la producción de ladrillos cerámicos cocidos para renovar la imagen de Asunción y aparecieron los muros portantes como nueva técnica constructiva. Los horcones de madera fueron sustituidos por no cumplir más su función de soporte de techos. En los techos, se utilizan maderas varias como estructura y para cobertura la paja, techos metálicos, conglomerados tipo “eternit” o “tejas españolas”. Los pisos en su mayoría siguen siendo de tierra apisonada o de ladrillos. Más actuales son los pisos de alisada de cemento o las baldosas.

INVESTIGACIONES EN PARAGUAY

Ya en la década de 1960, se introdujo la Bloquera CINVA-RAM desde Colombia para la producción de bloques de tierra estabilizada con cemento en el barrio Zeballos Cué de Asunción, dando como resultado un producto que no era competitivo en comparación con otros materiales semejantes en el mercado como “el ladrillo común”.

Estos BTC se han utilizado en sectores rurales para diversos equipamientos comunitarios en asentamientos indígenas principalmente con proyectos de ayuda mutua con asistencia técnica. El Centro de Tecnología Apropiada de la Universidad Católica de Asunción ha investigado y desarrollado mejoras aplicables a técnicas de tierra tales como bloques de suelo cemento, paredes de tapial con espesores de 11,5 cm y estabilizado con cemento, técnicas alternativas de revoques y pinturas para construcciones con tierra, techos alternativos, entre otros. Fue la impulsora del mejoramiento de la máquina CINVA-RAM, bloquera de suelo cemento, aumentando su productividad de bloques de 400 a 1.200 por día, trabajando 3 personas por 8 horas. Comenta Ríos (1995) “La mezcla usada para esta máquina es de 20% de arcilla y 60-70% de arena, las que se mezclan con un 5% de cemento, mejorando la resistencia frente a las lluvias.” (Julián Salas Serrano, 1995, p. 218). En la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Asunción

también se presentaron interesantes experiencias investigativas y exploratorias de uso del material.

Esta bloquera más la auto-organización y recurriendo a la ayuda mutua para la construcción, fue una interesante propuesta utilizada en varios proyectos de interés social. Los proyectos fueron impulsados por organizaciones de civiles principalmente. Hubo una inicial resistencia de las comunidades por el prejuicio que tenían de este material, utilizado antes erróneamente y principalmente afectada por las grandes lluvias y condiciones climáticas. El bloque de tierra compactada (BTC) utilizado en aquellas obras se reivindicó y superó las expectativas con los resultados obtenidos, gracias al mejoramiento de las técnicas autóctonas con estabilizantes, haciéndose más apto.

Ilustración 2: Bloquera CINVA-RAM



Fuente: Minke, 2005. Foto 9 y Foto 10 Fuente: Thomas Gieth (Ríos Cabrera; González Cáceres; Gill Nessi, 2009).

Gracias a la introducción de la bloquera manual de tierra compactada, se ha dado un paso importante en la producción de BTC y se logró que esta técnica constructiva sea económicamente viable.

También en los '80 se han investigado las características físico-mecánicas de la "tierra cruda", su asociación con otros productos naturales o con adición de cemento y cal, sin embargo, sin concretarse aún una norma sobre el uso del suelo-cemento. La característica no tan positiva del material, es el tiempo de producción, quedando pendiente también una optimización de las técnicas.

Se puso además en marcha un plan de combate a la vinchuca en sectores rurales, reponiendo revestimientos de viviendas construidas con tierra, ya que son sitios óptimos para el agente transmisor del mal de Chagas, un

problema que acosa al país. Varios fueron los proyectos ejecutados en sectores rurales demostrando positivos cambios en el hábitat y la acción eficiente sobre el control y la prevención de dicha enfermedad.

Al buscar mayores beneficios en la utilización de la tierra, se adicionaron estabilizantes químicos como la cal y el cemento. La utilización del suelo-cemento se comportó favorablemente, reduciendo la necesidad de mantenimiento y mejorando las propiedades de la tierra al hacerlo más resistente a los factores climáticos y las lluvias principalmente.

Tabla 2 Resistencia a compresión simple de algunos sistemas de construcción con tierra

Material	Densidad (kg./m ³)	Resistencia a la compresión (N/mm ²)
Adobe	1200 - 1500 kg/m ³	0,53 - 1,72 N/mm ²
BTC	1700 - 2000 kg/m ³	1 - 5 N/mm ²
BTC estabilizado	1787 kg/m ³	10,8 N/mm ²
Tapial	1900 - 2200 kg/m ³	3 - 4 N/mm ²

Fuente: (BESTRATEN, 2011)

En los años 90, la democracia trajo consigo más investigación y fondos, generándose más proyectos de participación comunitaria asistida técnicamente, innovación tecnológica e inclusive en la industria cobró importancia, ya que se buscaba agilizar su producción con prefabricación de algunos o varios elementos que la conforman. Gracias a los avances investigativos, se comprobó que el suelo-cemento es apto para cimentaciones, mejorando su resistencia con el paso del tiempo, a partir del trabajo de Bosio (1993) publicado en el Centro Tecnológico de Avanzada. Materializada la teoría en 1998 en la ampliación del local del CTA, en las conclusiones del trabajo, Bosio (1993, p.59) resalta que “los resultados observados en el prototipo experimental, sometido a condiciones muy adversas, demuestran la validez de su utilización en suelos en contacto con el agua”. A lo que agrega: “(...) las probetas extraídas de la cimentación al año y a los 5 años de su terminación, arrojan aumentos (de resistencia) muy marcados en relación a las probetas ensayadas a los 28 días de edad (70% al 200%) probablemente favorecido por las excelentes condiciones de curado, por el contacto permanente de la cimentación con el acuífero (1995, pp. 218-219).

A finales de la década ya varios proyectos en ciudades y zonas rurales optaron por los BTC para proyectos habitacionales, validada por la Secretaría

Nacional de la Vivienda y el Hábitat (SENAVITAT) para proyectos puntuales. El material fue utilizado para fundaciones y pisos de suelo-cemento compactados con pisón solamente. Los muros aún no son aprobados por los tiempos que llevan realizarlos que actualmente aún no logran ser competitivos, comenta Ríos Cabrera. (Correia, Neves, Guerrero, & Pereira Gigogne, 2016).

En los años 2000 la técnica constructiva de muros apisonados que fue desarrollada por el CEPED, de Brasil, fue introducida a nuestro medio por el intercambio entre universidades, realizándose el primer ejemplo con el apoyo de grúas para encofrados. Un ejemplo local es un centro comunitario de Asunción “Las Colinas” donde se utilizó esta técnica con guías de hormigón armado y encofrados deslizantes. Se buscó optimizar la resistencia de la tierra como suelo-cemento de poco espesor para lograr la optimización económica.



Foto 11 y Foto 12: Conjunto de 32 viviendas con bloques en suelo-cemento construidas por CIPAE con ayuda mutua en la comunidad de Koé Mbota Capiatá. Foto 13: Centro de Atención Primaria de Salud construida con el mismo sistema en Guazú Cua, Paraguari. Fuente: Ríos Cabrera.

Otros proyectos utilizaron suelo-cemento para cimentaciones (suelo apisonado), morteros de suelo-cemento, pisos de suelo-cemento compactados con pisón y aislaciones de techo (torta de suelo-cal con paja) principalmente en comunidades indígenas, aceptados por los pobladores retomando sus costumbres ancestrales e inclusive con la introducción del cemento como innovación estabilizadora.

Las investigaciones siguen progresando, principalmente en las universidades. Se han desarrollado talleres seminario para la técnica constructiva de suelo-cemento compactado con encofrados deslizantes en el en la FADA UNA con PROTERRA. Esta técnica desarrollada por CEPED en San Salvador Bahía se ha ejecutado en Las Colinas, Paraguay.



Foto 14: Fuente: Ríos Cabrera.

Actualmente el suelo-cemento es utilizado como mortero en varios tipos de construcciones.

Según estudios realizados y por primera vez publicados en este trabajo, la utilización del mortero de suelo cemento, puede llegar a superar resistencias exigidas por la normativa local. Para tener una relación entre éstos, se presenta información de suelos estabilizados con cal y cemento. Arroja como resultado mayor resistencia a la compresión y menor absorción de agua con el agregado de cemento como se puede ver a continuación.

Tabla 3: Informe de ensayos de morteros con cal y cemento

INFORME DE ENSAYO			CONS Nº: 0323/2017			
Solicitante: ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS (ALTEC) Dirección: CABALLERO Y CERRO CORA ENTRE 25 DE MAYO		Entrada Nº: 157525/2017 Dpto. ejecutor: Materiales de Construcción - ONI				
Fecha de recepción: 17-03-2017		Fecha de ejecución del ensayo: 29-03-2017				
Descripción de los ítems de ensayo: 4 (cuatro) Muestras de Arena Chaco Central, muestra de ladrillo hueco de 6 agujeros, muestra de cal apagada, muestra de murocal y una muestra de cemento Vallemi Compuesto CPII – C32						
Determinaciones	Unidades	Método	Resultados			
			Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4
Resistencia a la Compresión, en mortero	MPa	UNE-196	4,00	1,30	0,30	0,40
Absorción de Agua	gr/100gr	IRAM 1533-2002	15,50	16,00	19,40	32,40
Arrancamiento (Tracción de mortero cementante)	kg/cm ²	ABNT – NBR 13528/2000	1,05	0,00	0,10	0,00

Abreviaturas:

Ítem: Muestra ensayada

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

NBR: Norma Brasileira

Ítem1: Cemento – Suelo. Proporción (1:08)

Ítem2: Cemento – Suelo. Proporción (1:08) con Muro Cal

Ítem3: Cemento – Cal Apagada – Suelo. Proporción (1:04:16)

Ítem4: Cemento – Suelo. Proporción (1:12) con Muro Cal

Fuente: Alternativas Tecnológicas. Altec.

Estos estudios y otras experiencias, arrojan resultados útiles aplicable a las normativas.

DÉFICIT HABITACIONAL Y EL USO DE LA TIERRA EN EL PARAGUAY

La necesidad urgente de satisfacer el déficit habitacional se ve tan lejano para aquellas personas de bajos ingresos. Existen dos factores importantes para la obtención de una vivienda, por un lado, la tenencia de la tierra (inmueble), y por el otro, los elevados costos de materializar una vivienda. Los precios de materiales de construcción son muy elevados. La vivienda social por más que sea subvencionada por el estado, es concedida a los que reúnen ciertos requisitos, con intereses a largo plazo interminables. Los estados gubernamentales, lentamente ayudan con poco o casi nada a la investigación y la producción local. Pareciera que no hay interés en resolver el problema social que afecta a tantos.

Si bien existen normas constructivas en algunos países que pueden tomarse como referencia para el uso del BTC y tapial, faltan otras adecuadas adaptadas para en el caso del Paraguay, para zonas de grandes lluvias. Es necesaria mayor inversión del estado en investigación.

"La idea era reducir la pobreza con políticas que alentarían la construcción de caminos y viviendas para que la gente, especialmente la población rural, pudiera encontrar un trabajo rural no agropecuario. De las 7.600 viviendas que se pensaba construir, se iniciaron 6.800 y sólo se terminaron 555" reveló la Secretaría Técnica de Planificación (STP) al dar a conocer los resultados de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) 2014.



Foto 15. Fuente: La Nación.

Las opciones para construir con tierra son varias. Conforme a datos del Censo del 2012 en el total del país existen unas 13.460 viviendas con muros de estaqueo de las que 1.281 se encuentran en áreas urbanas (0.17%) y 12.179 en el área rural (2.48%). El uso de la técnica en las ciudades, probablemente desde mediados del siglo XIX ha ido siendo reemplazada, hacia la periferia de las mismas. Las técnicas mixtas de tipo “adobe” también se encuentran presentes en el Paraguay. Existen 7.324 viviendas construidas con adobes, de las cuales 1.171 están en áreas urbanas (0.16%) y 6.153 se encuentran en áreas rurales (1.26%). También esta técnica de mayor uso en el sector rural. Por último, para tener una relación entre las técnicas anteriormente nombradas, se nombra al “bloque de cemento” donde se ha contabilizado un total de 12.755 viviendas construidas con esta técnica, de las cuales 9.014 están en áreas urbanas (1.23%) y 3.741 viviendas están en áreas rurales (0.76%). En este último caso, esta técnica constructiva es utilizada mayormente por el sector urbano.

Tabla 4: Datos Censales sobre Viviendas con paredes exteriores de tierra en el Paraguay

	Total País		Zona Urbana		Zona Rural	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Paredes exteriores						
Ladrillo	850,197	69.51	615,277	83.95	234,920	47.92
Madera	325,797	26.64	102,892	14.04	222,905	45.47
Estaqueo	13,460	1.10	1,281	0.17	12,179	2.48
Adobe	7,324	0.60	1,171	0.16	6,153	1.26
Tronco de palma	6,573	0.54	1,077	0.15	5,496	1.12
Bloque de cemento	12,755	1.04	9,014	1.23	3,741	0.76
Cartón, hule, madera de embalaje	3,237	0.26	1,469	0.20	1,768	0.36
No tiene pared	484	0.04	36	0.00	448	0.09
Otro	3,338	0.27	724.00	0.10	2,614	0.53
Total viviendas	1,223,165	uds.	732,941	uds.	490,224	uds.

Fuente: STP-DGEEC. Censo Nacional de Población y Viviendas, 2012.

		Utilización de Tierra
		Utilización de Cemento

Fuente: Elaboración propia. Basado en la publicación del libro Arquitectura + Patrimonio en Tierra.

En todo el país, pobladores particulares en distintos puntos del país como en Costa Alegre - Tobatí y Paso Jobái - Guairá interesados en utilizar la tierra como material de construcción, con materiales de reciclaje y técnicas mixtas realizan sus viviendas de forma independiente organizando mingas.



Foto 16, Foto 17 y Foto 18. Fuente: Elaboración propia (2016).

Se ve un creciente interés en la utilización del cemento para estabilizar la tierra como material constructivo en cimientos, mamposterías y como para terminaciones. Son necesarios los avances en el área de investigación y normativas que acompañen su utilización.

La tierra como material constructivo debería ocupar un lugar estratégico en políticas medio-ambientales. Es necesaria una normativa que formalice la construcción con tierra para combatir la informalidad y asegurar la calidad de éstas. El ladrillo cocido y el de cemento tomaron un gran auge, extendiéndose cada vez más y relegando el uso de la tierra a la construcción rural y de escasos recursos.

EL PAÍS SUPLICA UNA SOLUCIÓN RÁPIDA AL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA HABITACIONAL

El Paraguay sigue siendo un país eminentemente rural, con el 40,1% de su población viviendo en el campo. Un reciente diagnóstico de la vivienda estableció un déficit cuantitativo de 176.843 unidades habitacionales y 1.237.903 de unidades habitacionales con déficit cualitativo para el país, totalizando 1.414.746 para el año 2017 y estimando 1.549.915 de viviendas para el 2020, según la Proyección del Déficit Habitacional 2011-2020 emitido por el Plan Nacional de Hábitat y Vivienda del Paraguay en los informes realizados por la SENAVITAT, PLANHAVI y Ferreira (Secretaría Nacional de la Vivienda y el Hábitat, 2017).

La problemática de la no existencia de una normativa para la construcción con tierra está ligada directamente a la falta de respaldo técnico. Esto a su vez afecta a los interesados en obtener créditos para la edificación de viviendas. Es necesaria la aprobación de planos y detalles constructivos

apropiados exigidos por los financistas y bancos, sin embargo, la situación se complica al no haber reglamentación aprobada como parámetro para edificar las viviendas de menor costo en plaza. Los casos de uso privado del material son escasos, sin embargo, cuando se presenta un arquitecto en la municipalidad encargada de ceder el permiso de construcción, no existe normativa alguna que prohíba la construcción con dicho material.

La situación sí se complica para los que poseen menos recursos, ya que la SENAVITAT todavía no aprueba su uso. Son contados los casos y su uso se da en forma parcial, como en el caso de cimientos de suelo-cemento. Éstos sí cuentan con estudios realizados por técnicos profesionales de primer nivel y tienen respaldo científico.

Se debe producir mayor conocimiento aplicable para ayudar a resolver el déficit habitacional. La vivienda es una necesidad básica, como la educación y la salud.

CAPÍTULO II - NECESIDAD DE NORMATIVAS A NIVEL NACIONAL PARA EL USO DE TIERRA Y SUELO-CEMENTO. ESTADO DEL ARTE.

ORDENANZAS QUE CONTEMPLAN AL SUELO-CEMENTO EN LAS NORMATIVAS LOCALES

Se nombran a continuación artículos de la Ordenanza N° 26.104/90 (Junta Municipal de Asunción, 2017), que establece el Reglamento General de Construcción, modelo para todos los municipios del Paraguay que no posean legislación propia.

En el Artículo 10º, se menciona que para poseer permiso de construcción se deben presentar carpeta de planos, planillas y cálculos del proyecto. En el Artículo 252 se menciona que un muro podrá construirse con *bloques o ladrillos* de hormigón, de mezclas de cemento Portland o sílico-calcrea, debiendo ofrecer una resistencia y una aislación térmica equivalente a las de los *ladrillos comunes* macizos. En el Artículo 257, se expresa que un muro lindero entre predios que en cualquier nivel cierra partes cubiertas deberá ser construido en albañilería de *ladrillos* macizos o de piedra con un espesor mínimo de 0,20m. En el caso de emplearse espesores de muros de ladrillos especiales, en el Artículo 268 se indica que los espesores mínimos establecidos para el empleo de *ladrillos comunes* podrán reducirse, cuando se utilicen ladrillos especiales y condiciones de acuerdo con la norma del INTN. En el Artículo 269 se menciona que podrán usarse ladrillos huecos o bloques huecos en muros de sostén (excluidos en divisorios entre predios), cuando la

norma adoptada así lo aconseje y en base ensayos comprobados y que en cada caso se determinarán los espesores, alturas, mezclas, tensiones de trabajo demás condiciones que surjan de las experiencias. Por último, en el Artículo 270, menciona que el espesor mínimo de un *muro de ladrillos o bloque no cargado* se ajustará a las normas que disponga el INTN según la relación entre la altura del muro y la longitud entre pilares o contrafuertes.

Este reglamento de construcción no hace alusión a materiales de construcción con tierra. Directamente delega este punto a la INTN, quien posee escasa información normalizada para el suelo-cemento y su aplicabilidad para la Arquitectura.

Sin embargo, sí hay una Consultoría para la Elaboración de las Normas Técnicas Generales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Caminos, Programa de Corredores de Integración del Occidente, Préstamo BID en fecha 04 de agosto de 2009 donde se menciona al suelo-cemento como opción válida para su aplicación en construcciones viales.

CAPÍTULO III - EXPERIENCIAS CONSTRUCTIVAS REALIZADAS EN LA REGIÓN ORIENTAL DEL PAÍS QUE RECURREN A LA TIERRA Y AL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Es importante destacar la nueva manera de pensar que se está instalando en el Paraguay entre los profesionales arquitectos, con una conciencia más ecológica y, sobre todo, por la puesta en valor de los saberes ancestrales de la construcción con tierra. El material tierra es retomado y se lo utiliza dando una nueva perspectiva en la manera de utilizarlo y se readapta a las nuevas necesidades y demandas de la sociedad actual. Se van rompiendo los esquemas de las técnicas constructivas tradicionales y por, sobre todo, hay un punto de partida para combatir ese pensamiento que relaciona a la tierra con la pobreza y el estancamiento en el tiempo. Oponiéndose a estas ideas, se lo reubica como un material noble. Va naciendo una nueva tendencia arquitectónica. Se reescriben las palabras del Arquitecto José Cubilla (2017). “Queremos generar un espacio digno y de nuestro tiempo, no estamos pregonando volver a la casita o al rancho feliz, queremos ofrecer espacios frescos con arquitectura contemporánea, usamos los materiales que la gente conoce y están adaptados a nuestro clima, a nuestro tiempo y genera a su vez mano de obra (...)”

A continuación, se presentarán obras contemporáneas paraguayas que emplean técnicas constructivas con suelo cemento. Se las presentarán a través

de fichas de análisis donde se podrán observar las técnicas y materiales empleados, así como las patologías que éstas presentan.

Se pretende brindar información útil de cada experiencia pionera en el país y para colaborar de este modo en los puntos a tener en cuenta para los lineamientos a ser presentados en este trabajo.

CASO OBRA 1: OBRA TAKURÚ

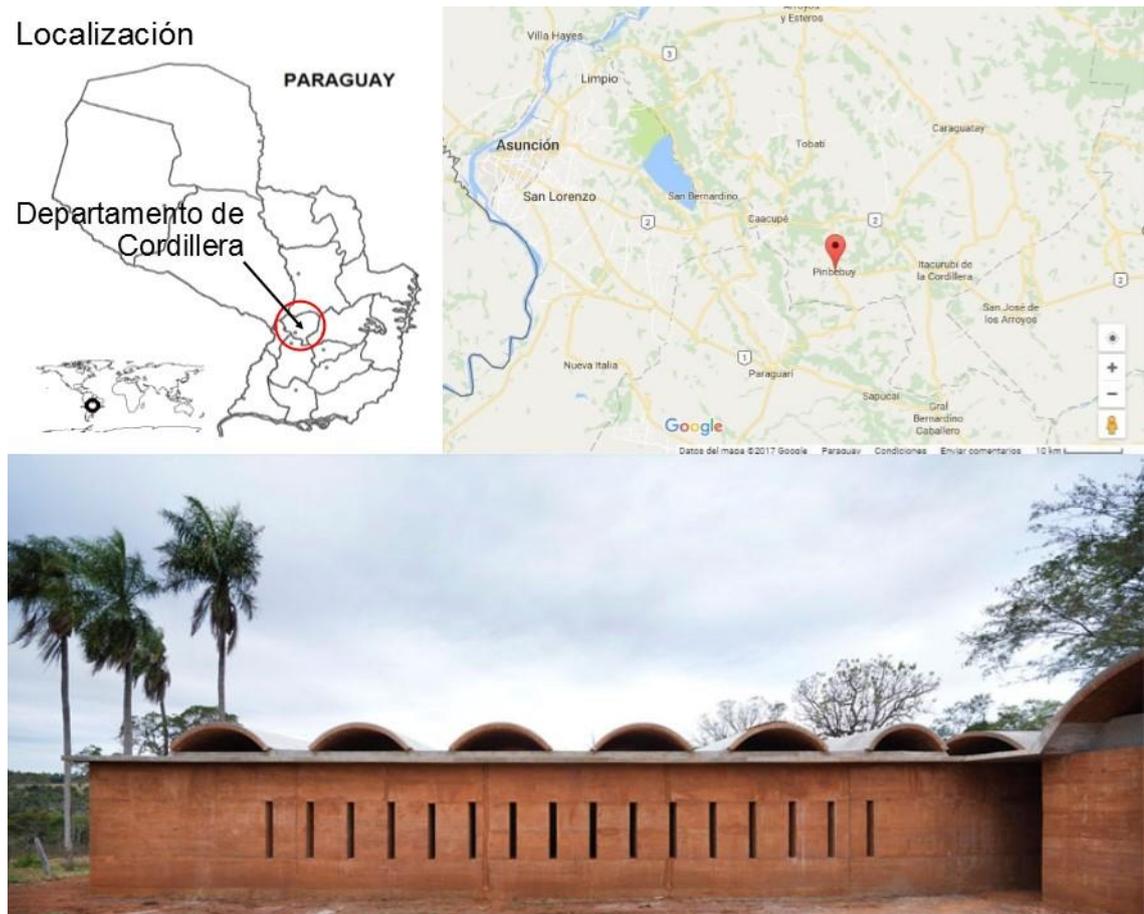


Foto 19. Fuente: Federico Carioli

Esta obra está implantada en Piribebuy, Departamento de Cordillera, a 80 km de Asunción, la capital del Paraguay. Es originada con la idea de tomar materiales del mismo terreno buscando ser lo menos agresiva con la naturaleza en lo posible. En ella se trata de incorporar una forma de construir vernácula o tradicional con una mixtura del cómo implementar eso en la actualidad. En ella realmente existe un mensaje, el de poder producir el menor impacto en los lugares en donde se interviene. *Takurú* en lengua guaraní significa termitero o colonia de las termitas, de donde se toma la inspiración para este proyecto, tomando sus principios como ideas motoras. El 85% de la

del material para construir la vivienda, ha sido obtenido del sitio. Su autor, el Arq. Cubilla, se llevó el galardón del “Arquitecto de las Américas 2016” otorgado por la Federación Panamericana de Asociaciones de Arquitectos y “Mejor Diseño arquitectónico” en la XX Bienal Panamericana de Quito.

Dos sistemas constructivos han sido utilizados. Consta de un muro perimetral de tapia (tierra comprimida) y las paredes interiores de ladrillos prensados de suelo cemento. Con estos dos elementos, se busca completar el diseño de la obra desde un ladrillo, muros y la cubierta de bóvedas de BTC. Para proteger la aislación térmica de la cubierta, se hicieron tejuelitas de suelo-cemento. Además, cuenta con reciclaje de aguas residuales gracias a un sistema de tratamientos por fitodepuración con camalotes y de aguas pluviales con canalizaciones que dirigen las aguas a una huerta primero y finalmente van al arroyo. Utiliza además el sistema de ventilación por subsuelo o pozos canadienses, generando un microclima de entre 18 y 21 °C constantemente, sin necesidad poseer aire acondicionado ni utilizar energía eléctrica gracias al gran espesor de los muros que funcionan como aislantes térmicos.



Foto 20, Foto 21 y Foto 22. Fuente: José Cubilla y Fernanda Garicoche.



Foto 23, Foto 24 y Foto 25. Fuente: Fernanda Garicoche y Federico Carioli.



Foto 26 y Foto 27. Fuente: Revista AIA

Comenta Cubilla (2015), autor de la obra, “Una vivienda importante en su escala, que se implanta en un lugar maravilloso, y que con un presupuesto bajo se propone utilizar la tierra del lugar para generar muros, cubiertas y suelos, para una familia numerosa del interior del Paraguay (...) Poca logística necesaria, lo que aporta economía al proyecto, dado el uso de la materia prima del lugar a partir de una excavación convertida en gran tajamar para los animales locales. A esto hay que sumar otros beneficios citados como pertinencia, control climático, profundo respeto del medio ambiente y diseño simple o elemental, las que son algunas de las premisas del proyecto (...)” (Correia, Neves, Guerrero, & Pereira Gigogne, 2016).

Ficha Técnica 1 Obra Takurú

Ficha técnica	TAKURU
Área	310 m ²
Localización	Piribebuy, Paraguay
Fecha de inicio del proyecto	2016
Arquitecto	José Cubilla
Constructor	Nelson Pérez
Técnicas constructivas empleadas	BTC de suelo-cemento Tapial de suelo-cemento

Patologías encontradas

Fisuras en muros entre paños de tapia



- **Observaciones:** Se observa que, al retirar los encofrados, la unión entre paños es muy notoria y presenta un desnivel que hace notar la ubicación de los encofrados.
- **Propuestas:** Se recomienda en uso de encofrados que sean lo suficientemente fuertes como para absorber los empujes causados por la compactación y empuje del material. Cuando más lisos sean los encobrados (chapas), menores serán las rugosidades.

Calidad de los bloques de suelo-cemento



- **Observaciones:** Algunos de los bloques de BTC presentan una fluorescencia blanquecina, notoria especialmente en el sector de las bóvedas del cerramiento superior. Esto se debe a que la obra quedó parada luego de realizarse dichas bóvedas. Luego de un tiempo se realizó la aislación de terminación en la cubierta. Estas manchas son producto de las aguas de lluvia. Los bloques fueron limpiados y solucionado el tema.
- **Propuestas:** Se recomienda seguir los procesos constructivos y dar terminación al proceso para que no queden sin las protecciones pertinentes.
- **Observaciones:** Los ladrillos también poseen manchas blanquecinas en algunos bloques, se presume que son causa de la calidad del agua empleada para hacer dichos bloques.
- **Propuesta:** Se debe utilizar agua potable para evitar esos problemas.

Fisuras por contracción



- **Observaciones:** Los muros poseen fisuras e inclusive grietas por contracción en el proceso de secado del material. El suelo utilizado era muy arcilloso, por encima de los valores recomendados. Al fraguar bien los muros, éstos empezaron a mostrar fisuras verticales. Además, algunas de las fisuras son causadas por los golpes generados en obra.
- **Propuesta:** Se debieron realizar buñas verticales para que las fisuras aparezcan en esa línea evitando su aparición espontánea.

Protección contra la intemperie



- **Observaciones:** Esta obra utilizó una dosificación de 5% de cemento para muros interiores y 10% de cemento para caras de muros lindantes con el exterior, ya que el espesor del muro daba la posibilidad de tener dos cargas en el mismo encofrado.
- **Propuesta:** Se debe tener en cuenta la dosificación adecuada de cemento para las caras exteriores, así como en el diseño, las protecciones correspondientes para la intemperie. Se recomienda el uso de goterones, aleros y antepechos diseñados y dimensionados para la protección de las lluvias y por erosión.

Fuente: Elaboración propia

CASO OBRA 2: CENTRO EDUCATIVO MBARACAYÚ

Localización

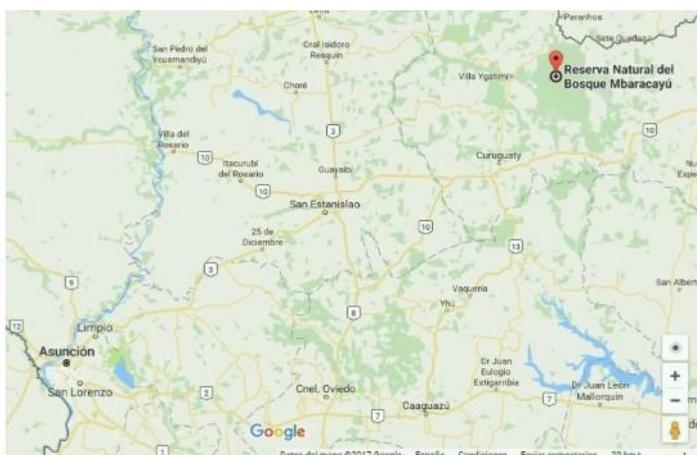


Foto 28. Fuente: Yago García-Enríquez

La obra del Centro Educativo Mbaracayú es un proyecto realizado por el Arq. Yago García-Enríquez. Está localizado en la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, en la Villa Ygatymí, Departamento de Canindeyú, a unos 375 km de Asunción. Consta de varios bloques de dormitorios para las estudiantes con BTC y un bloque con tapial de suelo-cemento para el sector de comedor y cocina, cuya luz es de 8m. Fue inaugurado en el año 2009.

La idea de este proyecto nace a partir de necesidad adicionar nuevos edificios al complejo preexistente que reúna características ecológicas para una escuela modelo autosuficiente que funciona dentro del parque, destinado exclusivamente a mujeres jóvenes rurales e indígenas en régimen de internado. Las técnicas empleadas debían ser bioclimáticas con materiales de construcción de bajo impacto ambiental. Este proyecto recibió el apoyo de La

Fundación Paraguaya en alianza con la Fundación Moisés Bertoni, propietaria del Centro y la Fundación Mbaracayú. En sus inicios este centro contó con el apoyo de la Nike Foundation.

El proyecto utilizó dos grandes muros de carga de 45 cm de espesor de tierra apisonada o tapial para distribuir el peso de una cubierta abovedada de cerámica armada. El techo debe resistir la erosión tanto de las lluvias frecuentes y vientos fuertes, como del uso diario de unas 150 estudiantes. Comentó el Arq. García, que él recomienda el uso de una viga de nivelación de hormigón entre el cimientado y el muro, ya que sirve para contener las fisuras del cimientado y evitar que se transmitan a los muros, en caso de que aparezcan.

Se ha utilizado una dosificación de tierra del lugar con adición del 5% de cemento para muros tabiques interiores y un 10% para fachadas de muros en contacto con el exterior. El gran espesor del muro permitía esta carga diferenciada de dos mezclas de suelo cemento distintas en cada capa, quedando bien ligadas entre sí. Hasta el año 2015, 6 años después de su inauguración, los muros mantienen su superficie intacta y las aristas no presentan signos de erosión.

Uno de los principios básicos de la creación del CEM es el hecho de que las alumnas, provenientes de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayú, de origen campesinas paraguayas, indígenas de las etnias aché, avá guaraní, toba qom, brasileras, “brasiguayas” y bolivianas, se conviertan en agentes transmisores de todas las experiencias que se desarrollan en el colegio, transmitiendo experiencias y aportando a la reducción de prejuicios que puedan dificultar el desarrollo de dichas comunidades.

García-Enríquez (2015) comenta que “En este sentido, el diseño del CEM y en especial el del Comedor, está orientado a transmitir a las comunidades del entorno las ventajas de una construcción sostenible y bioclimática y despejar las dudas y los prejuicios que estas pudiesen tener acerca de la construcción con tierra, o cualquier otra tecnología alternativa” (Correia, Neves, Guerrero, & Pereira Gigogne, 2016).

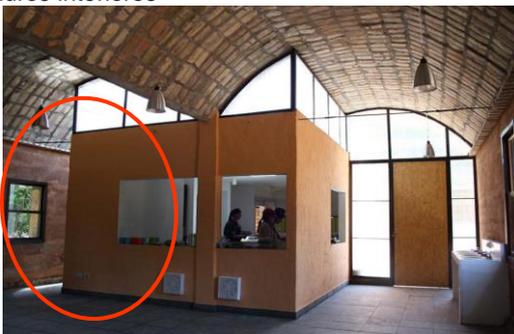
Ficha Técnica 2: Centro Educativo Mbaracayú

Ficha técnica	Centro Educativo Mbaracayú
Área	222.5 m ²
Localización	Villa Ygatymí
Fecha de inicio del proyecto	2008
Arquitecto	Yago García-Enríquez
Constructor	Arquestudio
Técnicas constructivas empleadas	Tapial de suelo-cemento y BTC de suelo-cemento
Patologías encontradas	
Vigas de nivelación de hormigón entre el cimientó y el muro de tapial	



- **Observaciones:** Se previeron vigas de nivelación de hormigón entre el cimientó y el muro, para contener las fisuras del cimientó y evitar que se trasmitan a los muros, en caso de que aparezcan.
- **Propuesta:** La solución entre el cimientó y muros resulta positiva, ya que no presenta patologías hasta la fecha.

Muros interiores



- **Observaciones:** Se ha utilizado una dosificación de tierra del lugar con adición del 5% de cemento para muros tabiques interiores de BTC y el sector interior del muro perimetral de tapial del bloque.
- **Propuesta:** No presenta patologías hasta la fecha. Arroja resultados positivos.

Muros exteriores



- **Observaciones:** Se ha utilizado una dosificación de tierra del lugar con adición del 10% de cemento para muros perimetrales en la mitad del espesor que da al exterior.
- **Propuesta:** La elección del porcentaje adoptado hace que no se presenten patologías hasta la fecha. El Arq. García-Enríquez afirma que la dosificación de cemento fue sobre dimensionada, como experiencia pionera. Se recomienda la utilización del 5% para optimizar los recursos.

Fuente: Elaboración propia

CASO OBRA 3: PROYECTO OGA'Í

Localización



Foto 29. Fuente: Silvio Ríos

El arquitecto Silvio Ríos y la arquitecta Emma Gill fueron merecedores del primer premio de la categoría Vivienda de interés social 2014, con el proyecto Oga'í, consistente en un grupo de viviendas para comunidades Mbya guaraní en el departamento de Caaguazú. Se caracteriza por su criterio basado en fortalecer la conciencia de respeto a los procesos naturales de uso y reciclaje propios de su cultura, cuidando los recursos y la compatibilidad con el medio ambiente.

Cada unidad habitacional está compuesta por el *keaty* o dormitorios, el *tatappy* como espacio para cocina con el lugar para el fuego y un *oga guy* como techo de sombra y espacio reunitivo. Además, cuenta con una huerta y área de reforestación de especies nativas.

La estructura de la vivienda se basa en las técnicas ancestrales guaraníes de iniciar la construcción por el techo, donde se emplean estructuras vistas portantes prefabricados de hormigón armado, reemplazando el uso de madera original. El techo es doble compuesto por chapa metálica y paja encima, hecho por artesanos comunales, con basamento liso, previendo el control de la enfermedad de Chagas y ofreciendo confort térmico.



Foto 30 y Foto 31. Fuente: Silvio Ríos

Los muros se utilizan para dividir los espacios sin función estructural alguna. Las aberturas son pivotantes. Se tuvo en cuenta la costumbre ancestral de hacer fuego dentro de la casa, previendo la salida de humos por medio de ventanas de antepecho bajo y aberturas a nivel del techo, garantizando la fluidez del paso de humos hacia el exterior. Así mismo, en la cocina los muros calados de ladrillo permiten el paso del viento para el fogón con chimenea. También posee un ducto de salida de humos.



Foto 32 y Foto 33. Fuente: Silvio Ríos

A nivel de piso se han previsto dos tipos de terminaciones: el *koty guasu* con piso de ladrillo y el resto de la vivienda utiliza piso de tierra estabilizada (suelo cemento apisonado) con borde de ladrillo. La cimentación es de hormigón ciclópeo para fundaciones de horcones, suelo-cemento apisonado

bajo muros de cerramiento utilizando el 10% de cemento y cordón de ladrillos para borde de piso de la galería. Interesante utilización del suelo-cemento para este tipo de viviendas, ya que poseen una justificación técnica demostrada por estudios realizados (Bosio, Centro de tecnología apropiada y Centro de los Estados Americanos OEA, 1992), un gran aporte e implementación para las viviendas económicas. Otra de las razones por la que se utilizó este material, es por la escasez de piedras en el sector, lo que beneficia económicamente a la obra.

Las viviendas también cuentan con un lavadero, cabina de ducha y un sanitario seco solar que requiere nuevas formas de manejo de excretas, para convertirse en abono y dejar de ser materia contaminante.

La Secretaría Nacional de la Vivienda y el Hábitat (SENAVITAT), realizó la entrega de estas viviendas a las familias beneficiarias en el año 2015, destacando el rol importante que cumplen las Gobernaciones, los Municipios y el Gobierno para la concreción de los proyectos habitacionales. Se puede percibir un nuevo concepto del buen vivir con identidad para pueblos indígenas.

El proyecto Oga'i involucró a las Comunidades indígenas, con recursos del programa Fondo Nacional para la Vivienda Social - FONAVIS de la SENAVITAT, la venia institucional del INDI, el asesoramiento de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) desde la Facultad de Arquitectura y el apoyo de la municipalidad.

Ficha Técnica 3: Proyecto Oga'í

Ficha técnica	Proyecto Oga'í
Área	40 m ² por unidad habitacional
Localización	Villa Ygatymí
Fecha de inicio del proyecto	2015
Arquitecto	Silvio Ríos y Emma Gill
Constructor	aTec s.a.
Técnicas constructivas empleadas	Cimientos de suelo-cemento Suelo apisonado de suelo-cemento

Patologías encontradas

Pisos de suelo-cemento compactado



• **Observaciones:** Se han utilizado contrapisos y pisos de suelo-cemento compactados con dosificaciones de 1:10.

Propuesta: La propuesta es una opción válida para la terminación de solados. No presenta patologías.

Cimentaciones de suelo-cemento compactado



• **Observaciones:** El cimiento se ha realizado con suelo-cemento compactado con dosificaciones de 1:10. Los análisis realizados arrojan resistencia equivalente a otros materiales, mejorando su resistencia con el paso del tiempo.

Propuesta: Si las condiciones de accesibilidad del material aumentan el costo de la obra, el suelo-cemento es una opción válida a considerarse para este propósito.

Fuente: Elaboración propia

CASO OBRA 4: ESCUELA BÁSICA UNIÓN EUROPEA

Localización

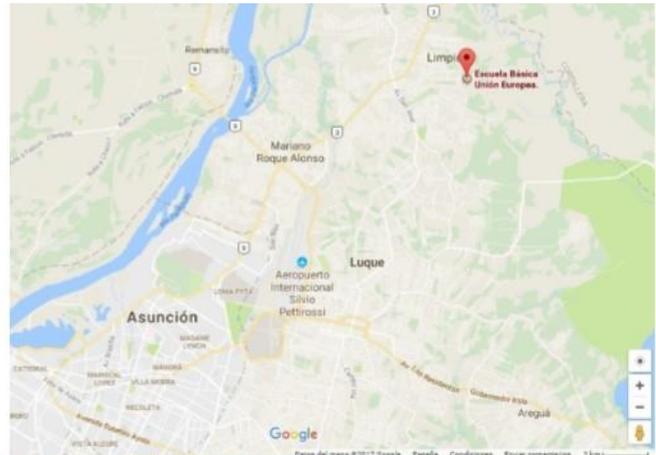


Foto 34 y Foto 35. Fuente: Elaboración propia

Esta escuela está situada en el Barrio Koejú de la Villa Europa en el sector de la cuarta fase en la ciudad de Limpio, Departamento Central. La escuela necesitaba una ampliación. Decidieron hacer un segundo piso con tres aulas de 204 m², más áreas comunes con BTC de suelo-cemento. Recibió apoyo económico de la Unión Europea (donación) y asistencia de profesionales arquitectos que, sin fines de lucro y con mucha voluntad, dieron su tiempo para colaborar con este proyecto. Bajo la premisa de economía y ecología se utilizaron BTC de suelo-cemento fabricados en el sitio y se realizó la obra con mano de obra de los padres de los alumnos que asistían a esta escuela bajo supervisión de los profesionales. La mampostería era doble.

Cuando toda la albañilería y cubierta se finalizaron, se solicitó al Ministerio de Educación ayuda para la provisión de aberturas (ventanas y puertas). Grande fue la sorpresa al encontrarse con las trabas del Ministerio de Educación, quien solicitó planos aprobados de la municipalidad, detalles

constructivos, pruebas del INTN para corroborar la resistencia de los BTC y un perito profesional que abale la seguridad de la obra.

Las aulas están inhabilitadas por orden del Ministerio de Educación hasta la fecha.



Foto 36, Foto 37 y Foto 38. Fuente: Elaboración propia



Foto 39 y Foto 40. Fuente: Elaboración propia

“Los resultados arrojaron resultados de resistencia de compresión de 9 Kg, cuando los requeridos por el proyecto eran 2 Kg para sostener un techo de chapa con celosías, con la excusa de que los solicitados por las normativas de la INTN para ladrillos comunes, es de 50 Kg, que ni siquiera reúnen los ladrillos comunes fabricados actualmente en Tobatí” comentó García-Enríquez (2017), autor de la obra. Este bloque de la escuela fue clausurado por “no reunir los requisitos”. Dejando a los alumnos sin aulas. Un caso polémico gracias, una vez más, a la falta de normativas y falta de control de calidad de los productos que se ofrecen en el mercado.



Foto 41. Fuente: ABC Color Digital

Ficha Técnica 4: Escuela Básica Unión Europea

Ficha técnica	Escuela Básica Nº 4292 Unión Europea
Área	256 m ²
Localización	Villa Madrid Etapa 4. Barrio Koejú. Salado, Limpio.
Fecha de inicio del proyecto	2008
Arquitecto	Yago García-Enríquez
Constructor	Ayuda mutua con asistencia técnica del Arquitecto
Técnicas constructivas empleadas	BTC de suelo-cemento

Patologías encontradas

Utilización de BTC



• **Observaciones:** El material a pesar del abandono y desuso del edificio, no presenta irregularidades.

Propuesta: Queda demostrado que el material en sí es durable en el tiempo. El material sigue en las mismas condiciones iniciales.

Protección de las fachadas al intemperismo



• **Observaciones:** Las fachadas presentan dos coloraciones diferentes con el paso del tiempo. Quizás debido a la exposición a la intemperie en dos situaciones.

Propuesta: Se propone estudiar opciones que den una terminación homogénea al material sin tapar los poros y lo proteja de la intemperie.

Revoque de vanos en planos horizontales superiores.



• **Observaciones:** Los revocos de mochetas en el perímetro de las aberturas presentan desprendimiento del material.

Propuesta: Sería interesante estudiar posibles dosificaciones que pudiesen tener mejor resistencia en este tipo de planos, para que no ocurran accidentes.

Fisuras ocasionadas por golpes de obra



• **Observaciones:** Al producirse golpes de obra, como por ejemplo en este caso, la picar para macizar una baranda en el muro, se producen fisuras.

Propuesta: Se recomienda hacer estos trabajos con máquinas que no produzcan tantas vibraciones, o de ser posible, prever los espacios destinados para las instalaciones.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Resistencia a la compresión de ladrillos para la construcción

Categoría de ladrillos	Resistencia a la compresión
A	90 kg/cm ²
B	70 kg/cm ²
C	50 kg/cm ²
Bloque Suelo-cemento	80-100 kg/cm ²

Fuente: INTN

Según un ensayo de resistencia realizado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, con muestras de ladrillos comunes adquiridos en distintos depósitos de materiales del área metropolitana, arroja que la mayoría no llega a cumplir las especificaciones establecidas para la clase C, revelando que los ladrillos no tienen la resistencia adecuada.

Varios estudios a nivel internacional demuestran que la resistencia a la compresión simple aumenta progresivamente con el tiempo, considerablemente a los 90 días, tres veces más que a los 7 días. En edades posteriores, se observan crecimientos mucho más lentos, alcanzando hasta 3.5 veces su valor inicial a los 50 años.

CASO OBRA 5: VIVIENDA DAHUSS VEGA

Localización

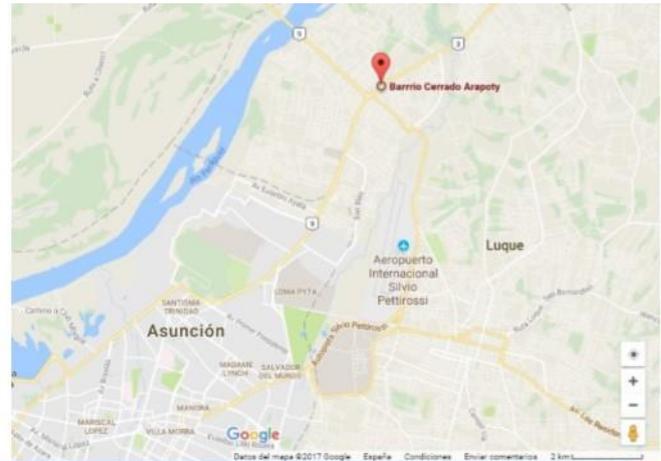


Foto 42 y Foto 43. Fuente: Elaboración propia

Situada en la Ciudad de Mariano Roque Alonso, esta vivienda se encuentra dentro de un condominio privado. El Arquitecto Yago García-Enríquez (2017), diseñador de la obra, comentó que esta vivienda en construcción contará con un pequeño subsuelo para cava, dos niveles para vivienda y un tercer nivel para el área de servicio, siendo el primero en tener 1 subsuelo más tres niveles entre las construcciones de su tipo.

La técnica constructiva utilizada en esta obra es el tapial. Es la primera vivienda en Paraguay en implementar el uso de compactadores neumáticos, encofrados con acero galvanizado y fenólicas en la técnica de construcción con tierra tipo tapial. Se ha logrado mayor resistencia gracias a la optimización de la compactación y así mismo, una terminación estética más lisa en comparación con las otras técnicas empleadas anteriormente.



Foto 44, Foto 45 y Foto 46. Fuente: Elaboración propia

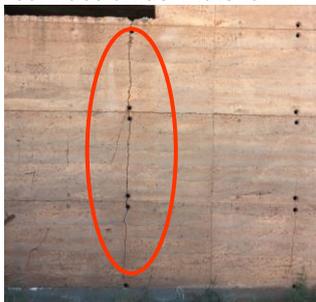
La tierra se obtuvo de excavaciones en el mismo terreno de implantación donde se sitúan la cimentación, cava y piscina. La superficie construida totalizará 359,9 m² en un terreno de 360 m². Se ha obtenido la habilitación municipal, ya que no existen leyes que prohíban la utilización de la tierra como material de construcción.

Ficha Técnica 5: Vivienda Dahuss Vega

Ficha técnica	Vivienda Dahuss Vega
Área	359,9 m ²
Localización	Barrio cerrado Arapoty, Mariano Roque Alonso.
Fecha de inicio del proyecto	2016
Arquitecto	Yago García-Enríquez
Constructor	Arquestudio
Técnicas constructivas empleadas	Tapial de suelo-cemento

Patologías encontradas

Fisuras por contracción del material



- **Observaciones:** Se presentan fisuras verticales en los muros relacionando los puntos de amarre de encofrados. Son fisuras por retracción del material.

- **Propuesta:** Se está comparando cuál es el mejor método para salvar estas grietas. Una de las posibles soluciones, es con relleno manual con una mezcla similar a la utilizada dando golpes. Otra opción es con una mezcla más húmeda que pueda llegar hasta la profundidad máxima de la grieta, donde la segunda opción es más notoria estéticamente y representa otro problema para emparejar la superficie con algún acabado.

Fisuras por golpes de trabajo



- **Observaciones:** Estas fisuras son por golpes de trabajos posteriores a la terminación del muro.

- **Propuesta:** Se recomienda prever las instalaciones en el encofrado de compactación para que las vibraciones posteriores no dañen el muro.

Colocación de instalaciones embutidas



- **Observaciones:** Se han utilizado tres opciones para las instalaciones.

- 1) Colocación de caños a nivel máximo de compactación hasta alcanzar la resistencia necesaria para cargar la siguiente capa a compactar.

- 2) Colocación de tacos de madera en los sitios donde irán las instalaciones

- 3) Cortar los nichos con máquina moladora al finalizar el muro.

- **Propuesta:** Es recomendable la utilización de tacos de madera en los encofrados y la carga de material hasta la altura de la instalación en horizontal esperando cargar la próxima capa una vez alcanzada la rigidez necesaria.

Encofrados y acabados



- **Observaciones:** Los encofrados con chapas y compactadores neumáticos utilizados en esta obra dan como resultado mejores terminaciones estéticas más lisas.

- **Propuesta:** En caso de querer terminaciones más lisas, la utilización de este tipo de sistema constructivo, tiene mejores resultados.

Resistencia del material



- **Observaciones:** Gracias a la utilización de compactadores hidroneumáticos, más el adecuado dimensionamiento de los muros, se han alcanzado mejores resultados de resistencia a la compresión, pudiéndose utilizar los muros portantes para soportar losas y alcanzar los tres niveles solicitados por esta obra.

- **Propuesta:** Se recomienda la utilización de compactadoras hidroneumáticas para alcanzar mayores resistencias.

Fuente: Elaboración propia

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA PARA LOS LINEAMIENTOS

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de las obras estudiadas. Todas coinciden en que la selección del suelo y su estabilización son uno de los pasos más importantes. La buena selección del suelo para la técnica constructiva a ser utilizada es de mucha importancia.

La mayoría de las observaciones analizadas en las fichas, apuntan a la buena selección de la materia prima.

Tabla 6: Resumen de Resultados obtenidos del análisis de las obras

Obra	Técnica Utilizada	Dosificación	Consideraciones
Takurú	Tapial y BTC	20-25% Arcilla y limos 60-70% Arena 5-10% Cemento	Cuando el suelo es muy arcilloso, se debe estabilizarlo previo uso para no tener muchas fisuras por retracción del material.
Centro Educativo Mbaracayú	Tapial y BTC	20-25% Arcilla y limos 60-70% Arena 5-10% Cemento	Si el suelo es apto, se deben utilizar la mínima cantidad posible de cemento, por economía.
Oga'í	Cimientos de suelo-cemento	20% Arcilla y limos 70% Arena 10% Cemento	Única dosificación que cuenta con respaldo técnico hasta la fecha.
Escuela Unión Europea	BTC	20-25% Arcilla y limos 60-70% Arena 5% Cemento	Los bloques utilizados no presentan patologías. Se debe impulsar una normativa que pueda respaldar el uso del BTC de suelo cemento para obras públicas.
Vivienda Dahuss Vega	Tapial	20-25% Arcilla y limos 60-70% Arena 5% Cemento	La calidad del encofrado y la compactación del material tienen una influencia directa sobre el material. Se siguen explotando posibles soluciones para optimizar el proceso.

Fuente: Elaboración propia

En todos los casos los tenores de arcilla y limo corresponden al 30%, arena 70%.

El cemento empleado se da entre 5 al 10% en relación a la tierra.

CAPÍTULO IV - LINEAMIENTOS PARA UNA NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA PARA LA REGIÓN ORIENTAL EN EL PARAGUAY, ESPECÍFICAMENTE SUELO-CEMENTO.

REQUISITOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA Y SUELO-CEMENTO

“La arquitectura con tierra” o “construcción con tierra” se denomina a toda producción arquitectónica que emplea como principal material de construcción a la tierra, también conocido como tierra cruda, tierra sin coser o tierra para construir. Lo usual es el término tierra, que corresponde al suelo propiamente para construcción. El término es solamente utilizado principalmente cuando engloba clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptadas en otros campos de la Ingeniería, así como los términos de suelo-cemento, suelo-cal, suelo estabilizado, entre otros.

Los requisitos generales con los que se deben ejecutar las obras que se realicen con el material tierra son las normas de construcción vigentes para cada sitio de implantación y si la envergadura de la obra lo requiere, no dejar de lado el cálculo estructural exigido por las normas paraguayas de construcción vigentes. La estructura, seguridad y resistencia de la obra deben estar antes que los requisitos arquitectónicos y la estética. Como referencia, se dan a conocer los requisitos basados en la publicación de CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo para la

sistematización del uso de la tierra para edificaciones de adobe y tapial en viviendas de interés social.³

EL SUELO

El suelo es todo material de la corteza terrestre proveniente de la descomposición de rocas, constituido por elementos minerales y/u orgánicos que dependen de la composición química y mineralógica de la roca de origen, de las características del relieve, de los diferentes climas y del tiempo de exposición a la intemperie. Por su clasificación granulométrica puede ser arenoso, arcilloso o limoso.

En la Arquitectura y construcción con tierra - es “toda producción arquitectónica que emplea el suelo como principal materia prima” (Red Iberoamericana PROTERRA. Martins Neves, Borges Faria, Rotondaro, Cevallos Salas, Hoffmann., 2011) - también conocido como tierra cruda, tierra sin cocer o tierra para construir. El término suelo es usado cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptadas en otros campos como en la Ingeniería, así como los términos suelo-cemento, suelo-cal y suelo estabilizado, entre otros.

El suelo en sí tomado de cualquier terreno no es apto aún para su utilización en la construcción. Primero debe ser clasificado. Por lo general, están localizados en el subsuelo. El suelo no debe presentar piedras, raíces o cualquier tipo de material orgánico.

Las propiedades más importantes a tener en cuenta para su uso en la construcción son, primeramente, en la selección del suelo (composición granulométrica, plasticidad y retracción) y posteriormente el control de la ejecución (humedad y grado de compactación).

Según las dimensiones de los granos, presentan características propias que indican su comportamiento como material de construcción. Las partículas contenidas en él determinan la franja de dimensiones y son clasificadas como gravas, arenas, limo y arcilla.

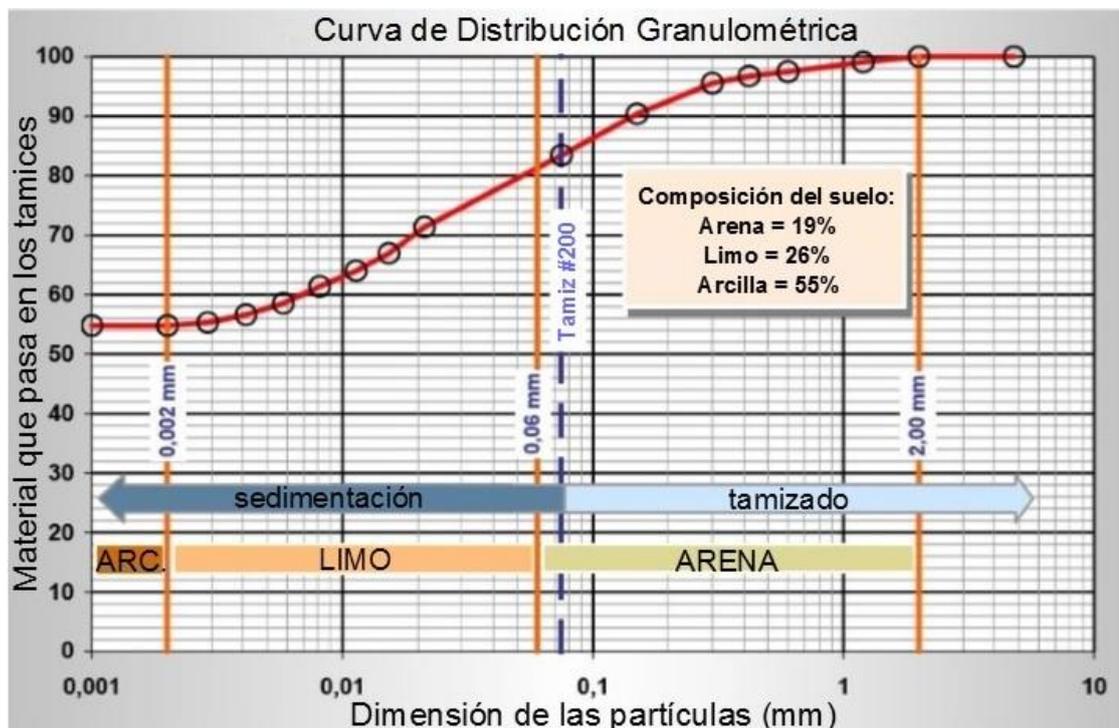
³ Anexo 2. Requisitos Generales para construcción con tierra.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

En general, la composición granulométrica del suelo es representada por el diagrama de curva granulométrica, que muestra la relación entre la cantidad y la dimensión de las partículas presentes. Hay ensayos para determinarla: para las partículas mayores - grava y arena - se emplea el proceso de tamizado y, para las partículas más finas - limo y arcilla - por análisis de sedimentación. En el tamizado, se determina la cantidad de las partículas que pasan o que son retenidas en tamices de aberturas normalizadas en porcentajes. En el ensayo de sedimentación se mide la decantación por tiempo de las partículas dispersas en agua, en función de la variación de densidad de la solución, calculándose sus proporciones en la muestra.

Gráfico 2: Curva de distribución Granulométrica

Ejemplo de curva de distribución granulométrica, se indican las fracciones componentes del suelo, y las franjas para ensayo de tamizado y de sedimentación.



Fuente: CYTED (2015) adaptado de FARIA, 2002.



Foto 47 y Foto 48. Ensayo de tamizado: serie de tamices estandarizados y aparato eléctrico de tamizado. Fuente: Erimaki

Ilustración 3: Ensayo de sedimentación



Aparato dispersor; Transferencia del suelo disperso a la probeta de 1 litro, y homogeneización de la temperatura del densímetro. Fuente: Obede B. Faria.

Los límites de las franjas de dimensiones de las partículas se definen en normas técnicas y presentan pequeñas variaciones entre los distintos países. Por ejemplo, la tabla 7 presenta el sistema de clasificación granulométrica adoptado en Brasil y en Paraguay por el MOPC en el Manual de Normas para materiales y ensayos de materiales (2011), establecido en la NBR 6502 (ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995) y las características de cada grupo.

Tabla 7: Clasificación granulométrica de los constituyentes del suelo

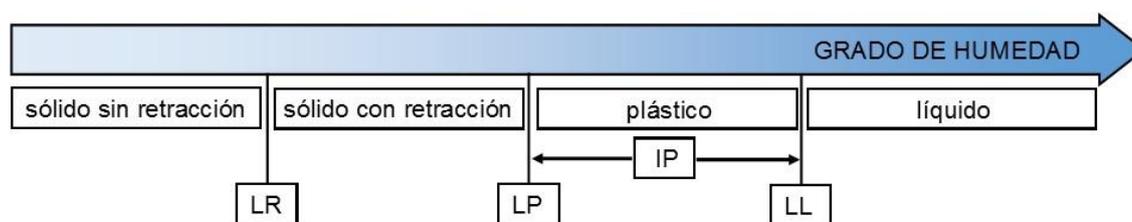
Dimensiones de los granos d (mm)	Clasificación de las partículas	Características principales
$2 \leq d \leq 20$	Grava	Elemento inerte y resistente.
$0,06 \leq d < 2$	Arena	Elemento inerte, sin cohesión.
$0,002 \leq d < 0,06$	Limo	Sin cohesión, disminuye la resistencia de la arena.
$d < 0,002$	Arcilla	Tiene una fuerte cohesión, sin estabilidad volumétrica, se expande en presencia del agua; Presenta propiedades físicas y químicas muy variadas según su origen.

Fuente: ABNT, 1995

PLASTICIDAD

El suelo presenta diferentes grados de humedad, pudiendo ser líquido, plástico o sólido. Se la identifica por el aspecto, la consistencia de los suelos y, principalmente por las arcillas presentes que varían muy nítidamente conforme al grado de agua que posee.

Ilustración 4: Estado del suelo en función de su contenido de humedad.



Fuente: Red Iberoamericana PROTERRA. Martins Neves, Borges Faria, Rotondaro, Cevallos Salas, Hoffmann, 2011

La plasticidad del suelo y los límites de consistencia se determinan a través de dos ensayos: límite de liquidez y límite de plasticidad. Los ensayos de plasticidad se realizan sólo con la parte fina del suelo, con el material que pasa por el tamiz de apertura 0,42 mm; método desarrollado por Atterberg.

El límite de liquidez (LL) es el grado de humedad determinado por el *aparejo de Casagrande*, compuesto de una concha metálica unida a una manivela que la mueve, haciéndola caer sobre una base sólida, un cierto número de veces, hasta que la ranura estándar, marcada previamente en la muestra de suelo colocada en la concha, se cierre de 1 cm. El límite de liquidez corresponde al grado de humedad en que la ranura se cierra con 25 golpes.

El límite de plasticidad (LP) es el grado de humedad necesario y suficiente para deslizar una porción del suelo humedecido sobre una placa de vidrio hasta formar un pequeño cordón de 3 mm de diámetro y 12 a 15 cm de

longitud. La diferencia entre el límite de liquidez y de plasticidad determina el índice de plasticidad ($IP = LL - LP$).

Ilustración 5 Ensayo de determinación del Límite de Liquidez (LL)

En observación el aparato de Casagrande, con accesorios.



Fuente: Obede B. Faria.

Ilustración 6: Ensayo de determinación del Límite de Plasticidad (LP).



Fuente: Obede B. Faria.

Los límites de liquidez y de plasticidad dependen, generalmente, de la cantidad y del tipo de la arcilla presente en el suelo. El índice de plasticidad, sin embargo, es únicamente dependiente de la cantidad de arcilla. En la práctica, se puede caracterizar el suelo por su índice de plasticidad y su límite de liquidez, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Clasificación de los suelos en función de los índices de plasticidad

Tipo de suelo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Limoso	5 a 25	20 a 50
Arcilloso	> 20	> 40

Fuente: CRATerre, 1979

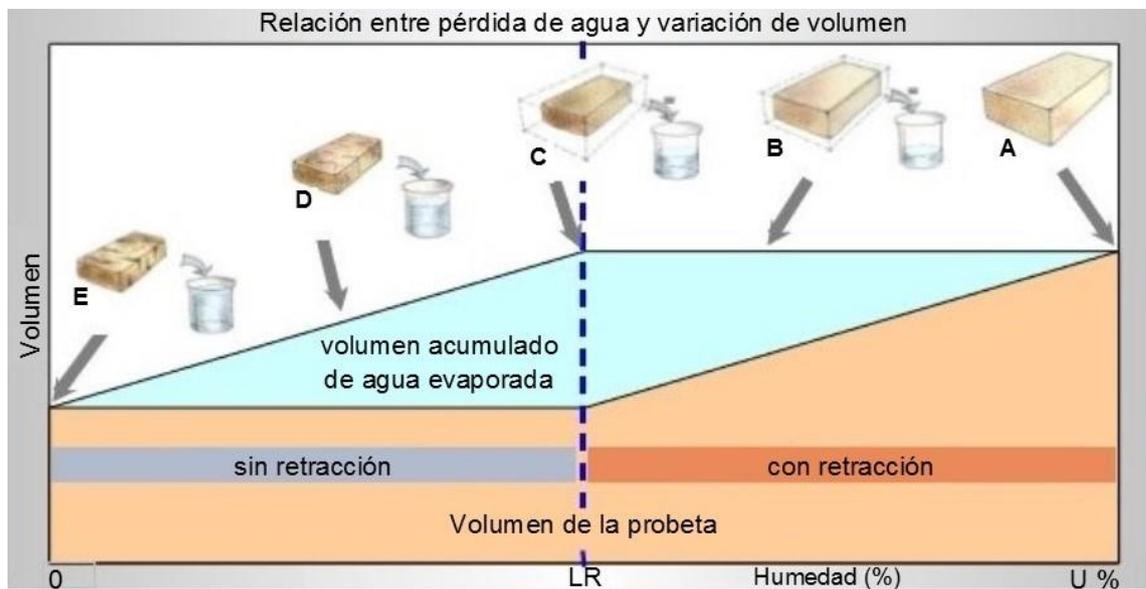
RETRACCIÓN

La cantidad y el tipo de la arcilla presente en el suelo, representados esencialmente por los minerales arcillosos, son responsables de los movimientos de retracción y expansión, con la variación de la humedad. En los muros de tierra, estos movimientos de la arcilla provocan fisuras, que pueden

generar lesiones internas y/o superficiales, facilitando el acceso de agua y pudiendo generar patologías, la pérdida de resistencia del material y degradación del muro.

El límite de retracción (LR) marca el paso del estado sólido con retracción y el estado sólido sin retracción, y está determinado por el grado de humedad a partir del cual el volumen del suelo permanece constante, cuando se produce la evaporación del agua. La evaporación del agua bajo el límite de retracción mantiene el volumen de suelo, pero la retracción sucede con la aparición de fisuras.

Ilustración 7: Diagrama representativo de relación entre el límite de retracción (LR) y variaciones de volúmenes de la tierra y del agua evaporada durante el proceso de secado.



- A- Probeta recién moldeada ($H_{máx}$)
- B- Inicio del proceso de secado ($H > LR$)
- C- Secado hasta el límite y retracción ($H = LR$)
- D- Secado debajo de LR ($H < LR$, posibilidad de aparición de fisuras)
- E- Probeta totalmente seca ($H = 0\%$)

Fuente: PROTERRA, 2011

Una forma muy interesante para conocer la retracción del suelo es a través de la prueba de la caja que será comentada posteriormente.

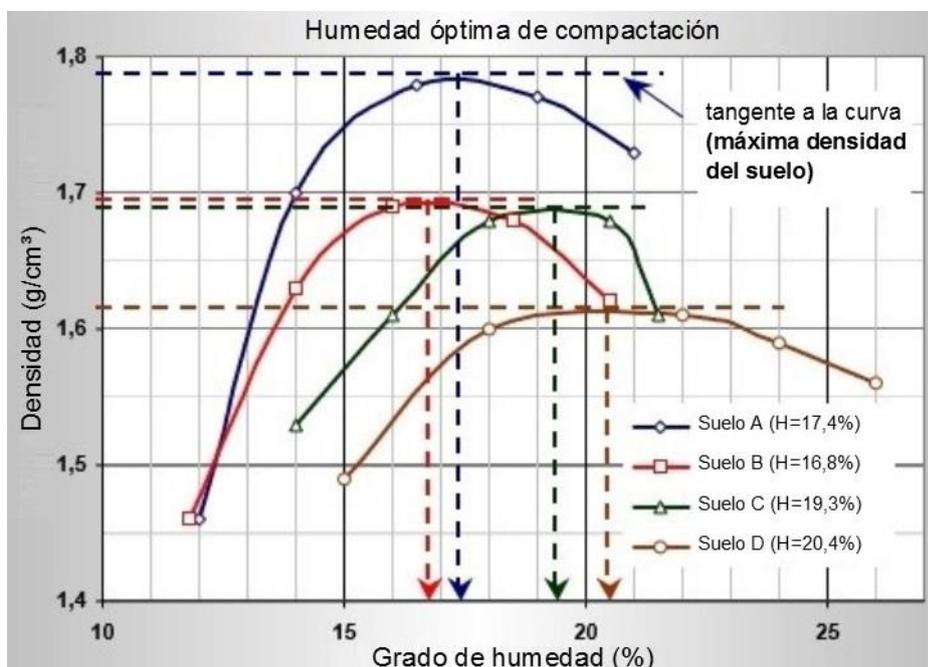
HUMEDAD Y COMPACTACIÓN

La resistencia del suelo está directamente relacionada con su grado de compactación cuando éste es apisonado a través de un determinado esfuerzo. Para cada tipo de suelo y para cada esfuerzo de compactación existe una

determinada humedad, llamada humedad óptima de compactación, donde se dan las condiciones para lograr mejor compactación, mayor masa específica seca y menor porosidad, y, en consecuencia, un material más durable y más resistente mecánicamente.

La humedad óptima de compactación es determinada en laboratorio a través de la medición de la masa específica del suelo en diferentes condiciones de humedad, cuando el mismo es compactado en un molde determinado (cilindro de Proctor). Las masas específicas se representan en el gráfico, en función de la humedad y la máxima masa específica, obtenida en la curva, define la humedad óptima de compactación del suelo.

Gráfico 3: Ensayo de compactación para cuatro diferentes tipos de suelo.



Fuente: PROTERRA, 2011

El grado de compactación corresponde a la relación entre la masa específica de una muestra retirada del trabajo realizado en el campo y la máxima masa específica determinada en laboratorio. Este sistema resulta complicado por el factor precio y los tiempos que llevan para elaborarlo y su lectura en obra.

Según la técnica constructiva, la mezcla de suelo y agua se utiliza en estado de consistencia plástica, con niveles de humedad superiores a la humedad óptima de compactación y no requiere energía para su compactación.

Al secarse la mezcla, el suelo alcanza la masa específica, de valor diferente a la máxima masa específica obtenida por compactación.

SELECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LA TIERRA. DEL LABORATORIO AL CAMPO.

La tierra como material de construcción se utiliza básicamente de dos modos: embebido en agua como masa plástica o barro, o bien como una mezcla húmeda cuando es compactada o prensada, denominada tierra.

La masa plástica posee una porosidad elevada debido a la evaporación del agua añadida en la preparación del barro. Presenta propiedades mecánicas y de impermeabilidad diferentes y menores que las del material de mezcla húmeda.

Cualquier suelo, con excepción de los altamente orgánicos o con presencia predominante de arcillas expansivas, puede ser utilizado como material de construcción. Existen limitaciones en el uso de determinados suelos por razones de trabajabilidad o tierras muy arcillosas, ya que poseen retracción elevada, producen superficies mal terminadas y son difíciles de estabilizar. Es habitual que se priorice el empleo de la tierra de la implantación de la construcción y la utilización de un solo tipo de tierra. De ser necesaria su estabilización, puede mezclarse con dos o más tipos de suelo para mejores resultados, mejorando las propiedades que le faltan.

El reconocimiento preciso de suelos adecuados a la construcción se realiza por diversos ensayos en laboratorio, cuyos resultados coinciden con algunos test de campo que pueden ser utilizados en su reemplazo. Estos ensayos están normalizados, arrojando resultados cuantitativos muy similares a los de laboratorio, que facilitan la comparación con los resultados de otras experiencias y la identificación de la dosificación ideal a ser utilizada.

Los criterios para la selección en lo posible deben seguir las recomendaciones aquí nombradas y deben tener en cuenta la seguridad, a partir de los resultados de los estudios. El constructor es responsable de seleccionar las tierras más adecuadas, disponibles en la región. Las pruebas de campo, que resultan de una sana combinación entre el saber popular y el

conocimiento del medio técnico, muchas veces son las únicas pruebas que se pueden hacer para seleccionar la tierra y construir.

Las propiedades mecánicas y de permeabilidad de la tierra pueden ser mejoradas generalmente con la adición de productos estabilizantes naturales como paja o fibras vegetales para reducir la retracción en el secado del barro; aceites vegetales y emulsiones asfálticas en el barro y en la tierra comprimida para disminuir la permeabilidad y hacerlo más longevo. La mezcla de aglomerantes como el cemento, cal u otros productos cementantes pueden producir aumentos considerables de resistencia mecánica e impermeabilización principalmente en la tierra comprimida.

Se utiliza al cemento para estabilizar el suelo mejorando sus características luego de saber la corrección granulométrica. Bardou y Arzoumanian (1979) clasifican la estabilización del suelo en cuatro categorías:

A) Estabilización por cementación: para solidarizar los granos de arena y las partículas arcillosas y obtener un esqueleto interno que limite la absorción de agua por la arcilla. Los más conocidos son: el cemento Portland; la cal, virgen o hidratada; la mezcla de cal y cemento; o una mezcla de cal con cenizas (de coque, de hulla, etc.).

B) Estabilización por armazón: agregar material de cohesión (granos o fibras) para asegurar por fricción las partículas de arcilla dando mayor firmeza al material. Se disminuye la resistencia mecánica final del material, pero se gana estabilidad y durabilidad, principalmente, las fibras vegetales.

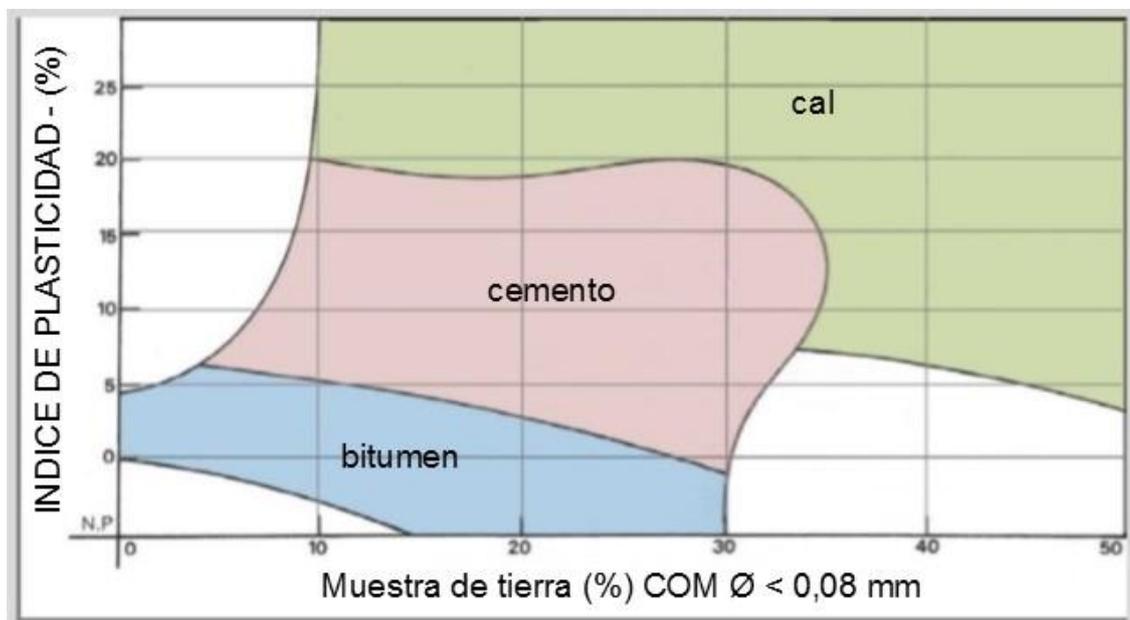
C) Estabilización por impermeabilización: envolver las partículas de arcilla por una capa impermeable, haciéndolas estables y más resistentes a la acción del agua, como por ejemplo el asfalto (o betún), que requiere una cantidad muy pequeña para obtener buenos resultados. Se da pérdida de plasticidad, mayor cohesión, requiriendo mayor cantidad de agua para el amasado y limita las técnicas constructivas a ser utilizadas. También pueden usarse otras sustancias, como aceite de coco, las semillas de algunas plantas oleaginosas, el látex o los residuos del prensado del aceite de oliva.

D) Estabilización por tratamiento químico: agregar al suelo sustancias capaces de estabilizar los elementos de la arcilla. Se deben tener en cuenta los

aptos para cada tipo de suelo con propiedades de solidificar y endurecer la arcilla. Es necesario un análisis químico de la misma. La cal es un agente cimentante que funciona como estabilizador químico formando los compuestos puzolánicos. Otras sustancias económicas son la soda cáustica y la orina de ganado.

Para la adición de estabilizantes, uno de los criterios bastante usado es aquel que relaciona la plasticidad del suelo con el tipo de aglomerante. Otro método, más extenso, relaciona la plasticidad y la granulometría con el tipo de aglomerante.

Gráfico 4: Selección del tipo de estabilizante en función del Índice de Plasticidad (IP) y de la granulometría de la tierra adaptado de HOUBEN & GUILLAUD.



Fuente: PROTERRA, 2011.

En obra es más práctico optar por los test de campo, ya que no requieren de mucha infraestructura. Los test de laboratorio son más caros y complicados de ejecutar. Una opción es la utilización de tamices normalizados para obtener las fracciones correspondientes a las granulometrías de tierra; generalmente hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0.074 mm).



Foto 49 y Foto 50. Fuente: Innovación y efectividad en la fiscalización de obras de carreteras. Tribunal de cuentas de Góias.

El suelo debe ser seleccionado de forma tal que requiera el menor contenido de cemento. Los suelos más adecuados para la fabricación de ladrillos y bloques de suelo-cemento son aquellos con las siguientes características:

- a) Granulometría: Pasar la tierra por un Tamiz Porcentaje que pasa # 4 (4.8 mm) 100 # 40 (0.42 mm) 70-15 # 200 (0.075 mm) 50-10⁴

La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla N° 200; los retenidos en cada malla se pesan y el % que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los % retenidos en todas las mallas de mayor tamaño.

- b) Plasticidad: Límite líquido: £ 45%; Índice plástico: £ 18%

- c) PH del suelo: £ 5.4

- d) Porcentaje de materia orgánica: £ 2.0 4.1.2.

- e) Cementos: Los cementos podrán ser del tipo Portland normalizados por la INTN. Cualquier otro tipo de cemento deberá ser evaluado mediante pruebas de laboratorio.

EL AGUA

El agua no deberá contener impurezas nocivas a la hidratación del cemento. Las aguas potables podrán considerarse como apropiadas para su empleo en el suelo-cemento.

⁴ Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-422-90. Anexo 3.

MUESTREO

Existen pruebas rápidas que son las más fáciles de utilizar en obra sin necesidad de muchos estudios técnicos de laboratorio, como por ejemplo a través del taco o la vista.

1. Selección de tierra representativa de la construcción. Colección de aproximadamente 30 kg de tierra en varios puntos del terreno de donde se pretenden hacer las extracciones para utilizarla. Se mezcla toda la tierra extraída.
2. Dividir la colección en su totalidad homogeneizada en 4 grupos iguales en forma de cono formando 4 cuadrantes. Dos opuestas se conservan, las demás se descartan.

Ilustración 8: Proceso del muestreo de la tierra



Fuente: Elaboración propia

Identificación de la muestra de tierra

Es conveniente elaborar una planilla marcando los puntos de análisis, teniendo en cuenta la fecha, lugar, nomenclatura de identificación de la muestra, responsable de la toma de muestra, ensayo y evaluación.⁵

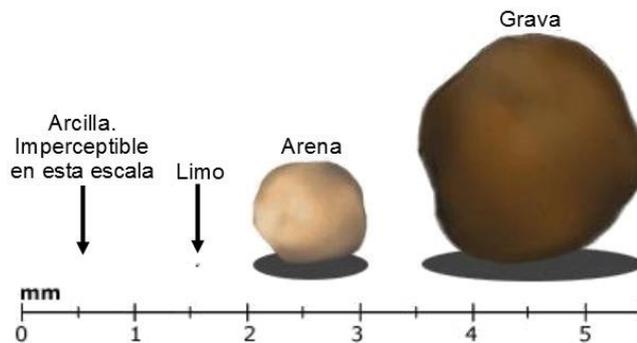
Test Táctil - Visual

1. Caracterización por tamaño de partículas.
 - 1.1 Esparcir la tierra de muestra seca en una fina camada en una superficie plana.
 - 1.2 Separar con las manos las partículas visibles a simple vista.
 - 1.3 Si la cantidad de limo y arcilla > arena y grava, la tierra es limosa o arcillosa.

⁵ Ver Anexo 4. Ejemplo de planilla y evaluación de los test.

1.4 Si la cantidad de arena y grava > que el limo y la arcilla, la tierra es arenosa.

Ilustración 9: Caracterización por tamaño de partículas



Fuente: Civilblog.org

1.5 Si la tierra es arenosa, tomar un puñado de la muestra entera (toda la tierra inicial), apretar formando una bola. Dejar secar al sol, si al secarse la bola se deshace, no es apta para construcción. Precisa estabilizantes.

2. Caracterización por color.

2.1 Suelo inorgánico: colores claros y brillantes.

2.2 Suelos orgánicos: color café oscuro, verde oliva y negro.

3. Por el brillo del material se puede ver la presencia de arcilla.

La arena con cuarzo o mica también presentan brillo. Atención.

3.1 Tomar un puñado del material, humedecerlo hasta formar una bola compacta con las manos.

3.2 Cortar en el medio y observar:

Si las superficies son brillantes o presenta mucho brillo, es arcillosa.

Si tienen poco brillo, la tierra es limosa.

Si las superficies son opacas, es arenosa.

4. Tacto

Al frotar entre los dedos una porción de tierra seca, se puede identificar los tipos de partículas que se encuentran por su textura.

4.1 La arena raspa;

4.2 El limo cubre los dedos, como un talco.

Test de la bola

En esta prueba consiste en analizar la cohesión del material.

1. Tomar una porción de tierra seca.
2. Juntar agua y hacer una bola de 3 cm de diámetro aproximadamente.
3. Dejar caer la bola desde una altura de 1 m en caída libre.
4. Observar cómo quedó el material en el piso.

4.1 Si la tierra se disgrega, la tierra es arenosa.

4.2 Si la tierra se esparce menos y mantiene su cohesión, es arcillosa.

Ilustración 10: Test de la bola



Fuente: Elaboración propia

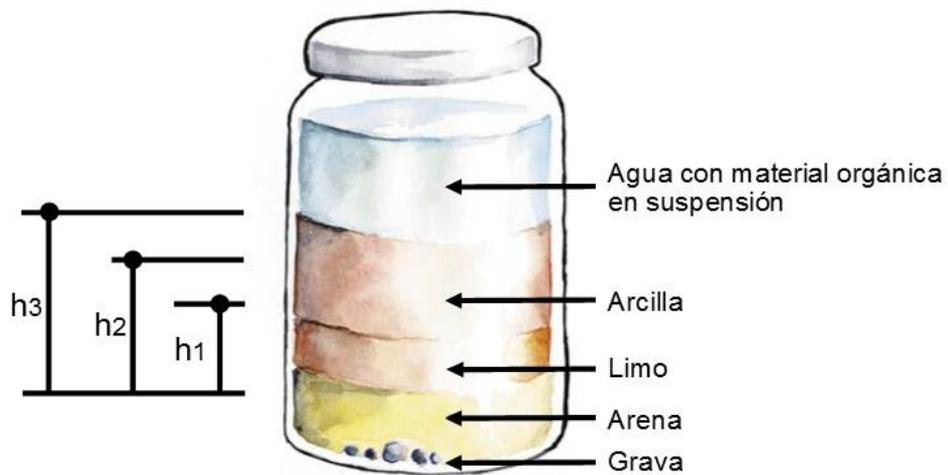
Test del frasco de vidrio

En esta prueba se basa en la diferencia en el tiempo de sedimentación de los componentes de la tierra en un frasco con agua.

1. Colocar una porción de tierra seca y desmenuzar en un envase de vidrio transparente liso con forma cilíndrica hasta llenar $\frac{1}{3}$ de su altura.
2. Adicionar agua hasta $\frac{2}{3}$ de la altura del frasco con un poco de sal.
3. Tapar el recipiente, agitar vigorosamente y dejar en reposo por 1 hora.
4. Remover nuevamente el frasco y dejar reposar en una superficie horizontal.

5. Cuando el agua se vuelva transparente, medir las alturas formadas en las capas de sedimentación.

Ilustración 11: Test del frasco de vidrio



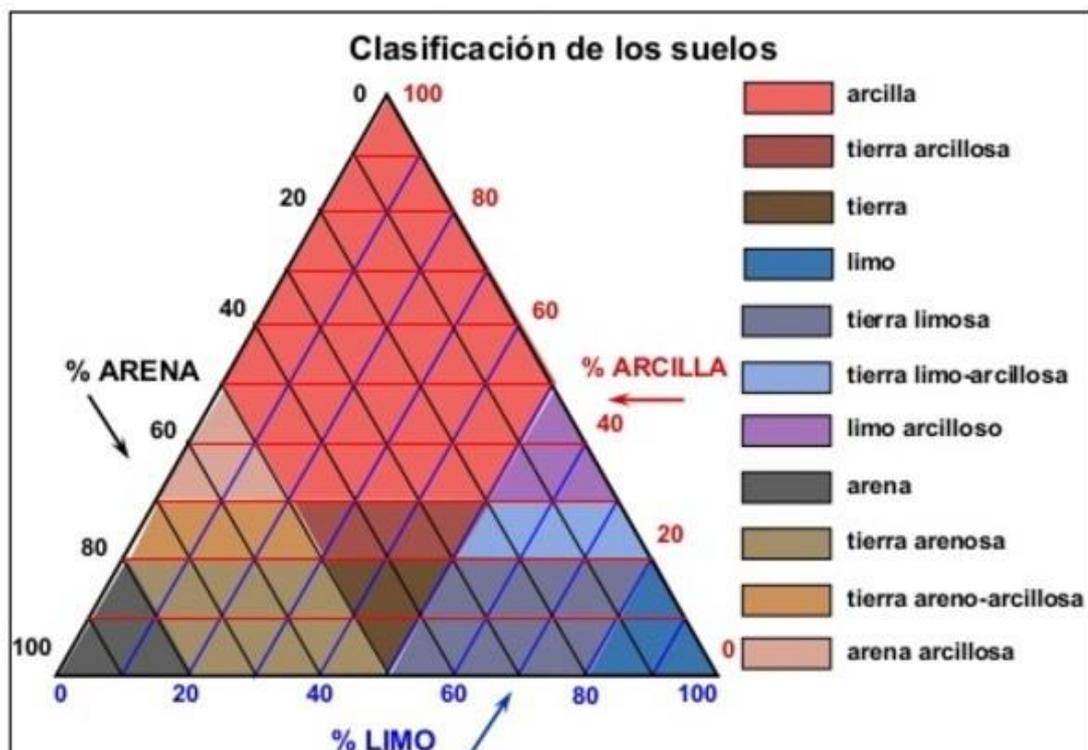
Fuente: Elaboración propia

$$(h1/h3) \times 100\% = \% \text{ arena}$$

$$[(h2-h1)/h3] \times 100\% = \% \text{ limo}$$

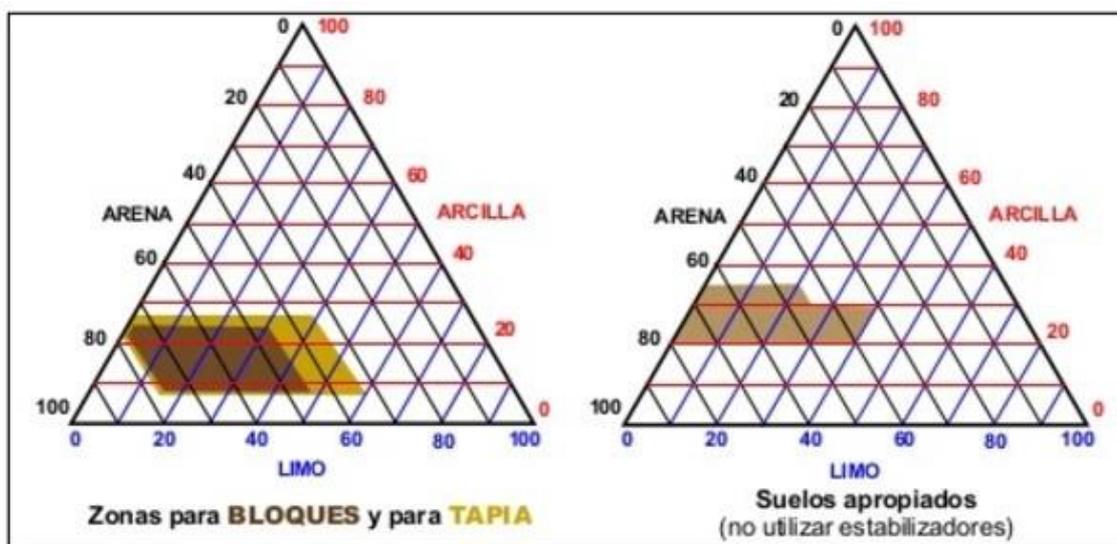
$$[(h3-h2)/h3] \times 100\% = \% \text{ arcilla}$$

Gráfico 5: Clasificación de los suelos por el test de vidrio



Fuente: PROTERRA, 2011.

Gráfico 6: Diagrama de clasificación de los suelos indicativos de uso de la tierra



Fuente: PROTERRA, 2011.

Test del cordón

En este test se evalúa la cohesión de una muestra de tierra con un determinado estado de humedad y la relación con uno de los tipos más probables de suelo. Se realiza de la siguiente manera:

1. Tomar una porción de tierra seca y adicionar agua hasta que el amasado genere una superficie lisa y plana, y que, al formar un cordón de 3 mm de diámetro, éste se rompa.
2. Formar una bola de tierra con la misma humedad y verificar la fuerza necesaria para aplastarla al ubicarlo entre los dedos índice y pulgar.
3. Se interpreta la acción con el siguiente cuadro.

Tabla 9: Test del cordón

Tipo del cordón	Rotura de la bola	Clasificación e interpretación
Duro	Sólo se puede quebrar la bola con mucho esfuerzo o no se quiebra.	Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad.
Suave	Poco resistente. Se fisura y desmorona fácilmente.	Tierra arcillo limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana.
Frágil	Frágil. No se puede moldear la bola debido a su fragilidad.	Bastante limo o arena y poca arcilla; baja plasticidad.
Suave y esponjoso	Esponjosa y suave. Si es comprimida, vuelve a esponjarse.	Suelo orgánico. No es apto para ningún tipo de construcción.

Fuente: PROTERRA, 2011.

Gráfico 7: Test del cordón



Fuente: PROTERRA, 2011.

Test de exudación

En este procedimiento se evalúa la tierra y su plasticidad en su función para retener el agua.

1. Tomar una porción de tierra bastante húmeda y colocarla en la palma de la mano.
2. Golpear esta mano con la otra, de modo que el agua salga a la superficie de la muestra, quedando brillante y lisa.
3. Comparar el resultado con el siguiente cuadro.

Tabla 10: Test de exudación

Tipo de reacción	Número de golpes	Efectos en la muestra	Clasificación e interpretación
Rápida	5-10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace desaparecer el agua inmediatamente y una presión más fuerte aplasta la torta.	Poca plasticidad. Arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico, tierra arenosa o limosa
Lenta	20-30	El agua aparece y desaparece lentamente; la presión de los dedos hace que la torta se deforme como una masa de caucho.	Limo ligeramente plástico o limo-arcilloso.
Muy lenta	Más de 30	No hay cambio notable.	Tierra de alta plasticidad. Arcilla

Fuente: PROTERRA, 2011.

Gráfico 8: Test de exudación



Fuente: PROTERRA, 2011.

Test de la cinta

Este test consiste en analizar la plasticidad del tipo de tierra.

1. Tomar una porción de tierra y, con la misma humedad del test del cordón, elaborar un cilindro del tamaño de un cigarrillo.
2. Amasar el cilindro para formar una cinta de 3 a 6 mm de espesor con el mayor largo posible.
3. Comparar los resultados con la siguiente tabla.

Tabla 11: Test de la cinta

Tipo de cinta	Comportamiento de la cinta	Clasificación e interpretación
Largo	Es posible formar una cinta de 25 a 30 cm sin dificultad.	Mucha arcilla; tierra de alta plasticidad.
Corta	Es posible realizar una cinta de 5 a 10 cm con dificultad.	Tierra arcillo-limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad media.
Muy lenta	No hay cambio notable.	Bastante limo o arena y poca arcilla: sin plasticidad.

Fuente: PROTERRA, 2011.

Gráfico 9: Test de la cinta



Fuente: PROTERRA 2011

Test de la resistencia seca

Esta prueba identifica el tipo de tierra en función de su resistencia.

1. Moldear dos o tres pastillas de tierra bien húmedas, con cerca de 1 cm de espesor y 2 o 3 cm de diámetro.
2. Dejar secar las pastillas al sol por dos o más días.
3. Intentar aplastar o romper cada pastilla entre los dedos índice y pulgar.
4. Comparar los resultados con la siguiente tabla.

Tabla 12: Test de la resistencia seca

Resistencia	Esfuerzo de rotura	Comportamiento	Clasificación e interpretación
Grande	Resistente	No se pulveriza	Suelo inorgánico de alta plasticidad; arcilla.
Mediana	Poco resistente.	Es posible reducir los pedazos a polvo.	Tierra arcillo-limosa, tierra arcillo-arenosa o arena arcillosa. Si es arcilla orgánica, no utilizar.
Poca	No resistente.	Fácil disgregación	Falta de cohesión. Suelo arenoso, limoso inorgánico u otro con poca arcilla.

Fuente: PROTERRA 2011

Gráfico 10: Test de la resistencia seca



Fuente: PROTERRA 2011

Para cada tipo de tierra, se estiman las técnicas constructivas diferentes. Una vez obtenidos los resultados de los test, se procede a lo siguiente.

En las siguientes tablas se pueden conocer las recomendaciones acerca de cuáles son las técnicas constructivas más apropiadas y los estabilizantes recomendados a ser utilizados según el tipo de suelo.

Tabla 13: Identificación de las técnicas constructivas en función de los resultados de test

Para cada tipo de tierra se puede estimar las técnicas constructivas más adecuadas en función de los resultados de los test del cordón, de la cinta, de exudación y de la resistencia seca. Como se muestra a continuación.

Test del cordón	Test de la cinta	Test de exudación	Test de la resistencia seca	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil o resistencia nula	Cinta corta o no se consigue hacer la cinta	Reacción rápida a lenta, pero nunca muy lenta	Poca o nula o generalmente nula	Arenosa; areno-limosa; areno-arcillosa; limosa-arcillosa	Ladrillos prensados, adobes y tierra compactada
Cordón frágil a blando	Cinta corta	Reacción lenta a muy lenta	Poca a mediana	Limosa	Es más difícil de usar que las tierras anteriores, pero puede ser adecuada con el uso de aglomerantes
Cordón blando	Cinta corta a larga	Reacción muy lenta o sin reacción	Mediana a grande	Arcillosa con grava, arcillosa-arenosa y arcillo-limosa	Uso posible para tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante.
Cordón duro	Cinta larga	Sin reacción	Grande	Arcillosa	Es posible usar para la fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas.

Fuente: PROTERRA 2011

Tabla 14: Estabilización de tierra según los test de campo.

Para estabilizar los tipos de tierra según los test de campo, se recomienda:

Identificación	Test del cordón	Test de exudación	Test de la resistencia seca	Técnica recomendada	Estabilizante más apropiado
<i>Tierra arcillosa y tierra limosa</i>					
Limo y limo arcillado	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida a lenta, pero no demasiado lenta	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC	Cemento Portland; puede ser afectado por temperaturas bajas
Limo	Cordón blando de resistencia media; bola muy frágil	Reacción lenta a nula	Poca a mediana	Evitar usar, si es necesario, adicionar aglomerante y revestir la superficie	Cemento Portland o emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcilla c/ grava, arcilla arenosa y arcilla limosa	Cordón blando de resistencia mediana; bola frágil, se fisura	Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande	Apropiado para BTC y tapia, necesita aglomerante	Corregir granulometría. Usar impermeabilizante
Arcilla y arcilla plástica	Cordón duro; bola no se fisura	Sin reacción	Grande	Apropiado para adobe y técnicas mixtas	Paja u otro tipo de fibras
Limo orgánico y arcilla limosa orgánica	Cordón frágil y esponjoso; bola esponjosa	Lenta	Poca a mediana	No usar	--
Arcilla orgánica	Cordón frágil y esponjoso, bola esponjosa	Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande	No usar	--
<i>Tierra arenosa</i>					
Arena limosa	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si tiene mucha arena, agregar arcilla y estabilizar con aglomerante	Cemento Portland o cal; o los dos combinados. Corregir granulometría si es necesario
Arena arcillosa	Cordón blando de resistencia media; bola muy frágil	Reacción lenta o muy lenta	Mediana	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si se tiene mucha arena, adicionar arcilla	Cemento Portland o cal; o los dos combinados. Corregir granulometría si es necesario
Arena	No funcionan estos tests	No funcionan estos tests	No funcionan estos tests	Apropiado para BTC y tapia, necesita aglomerante	--

Fuente: PROTERRA 2011

Identificación	Test del cordón	Test de exudación	Test de la resistencia seca	Técnica recomendada	Estabilizante más apropiado
<i>Tierra con grava</i>					
Grava limosa, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Rápida	Nula	Conveniente si la grava no es muy gruesa, usar para adobe y monolíticos	Cemento Portland; usar cal como impermeabilizante
Grava arcillosa, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Lenta a muy lenta	Mediana	Adobe y monolíticos	Cal, usar emulsión asiática como impermeabilizante
Grava	No funcionan estos tests.	No funcionan estos tests o estas pruebas	No funcionan estos tests o estas pruebas	No es apto	--

Fuente: PROTERRA 2011

Test del rollo, verificación de la tierra más adecuada para la tapia

Esta prueba verifica la cantidad de arcilla (material cohesivo) contenida en la tierra para la construcción con tapia y consiste en:

1. Tomar una porción de tierra, humedecida y amasada sobre una superficie plana hasta la obtención de un cordón de 200 mm de largo y de 25 mm de diámetro.
2. Deslizar suavemente el cordón sobre la superficie de una mesa hasta la orilla para quedar en voladizo, hasta que ocurra la rotura de la parte en voladizo.
3. Según lo ocurrido, comparar con la tabla siguiente.

Tabla 15: Test del rollo

Comportamiento	Interpretación
Rotura a menos de 80 mm	No hay arcilla suficiente
Rotura entre 80 mm y 120 mm	La cantidad de arcilla es ideal
Largos mayores a 120 mm	Arcilla en exceso

Fuente: PROTERRA 2011



Fuente: PROTERRA 2011

Test de la caja

Esta prueba se utiliza para medir la retracción linear del suelo e indica el comportamiento de relación a la retracción volumétrica. Muy utilizado para BTC y muros monolíticos con cemento.

1. Tomar una porción del suelo y adicionar agua poco a poco hasta que la mezcla empiece a adherirse en la hoja de la cuchara de albañil.
2. Colocar la mezcla en una caja alisando la superficie con la misma cuchara.
3. Dejar la caja al sol protegida del sol y la lluvia
4. Medir la retracción linear y comparar con la siguiente tabla.

Tabla 16: Test de la caja

	Retracción en mm	Centro del volumen	Tierra del volumen
Relación tierra y cemento para mezclas de suelo-cemento	Menor que 12	1	18
	Entre 12 y 25	1	16
	Entre 25 y 38	1	14
	Entre 38 y 50	1	12

Fuente: PROTERRA 2011



Fuente: PROTERRA 2011

Test basado en el Diseño de Faria (2002). Cada compartimiento mide 85 mm de ancho, 35 mm de altura y 600 mm de largo. Permite el ensayo de 5 muestras en simultáneo.

DOSIFICACIÓN

Se debe definir en lo posible un único criterio de medida de los materiales (balde, carretilla, caja) para evitar confusiones a lo largo de toda la obra. Prestar especial atención a las variaciones en las características físicas

del material usado; en caso que ocurra esto, se deberán ajustar las dosificaciones. Se deben preparar volúmenes de mezcla suficientes para no provocar pausas innecesarias. En caso de usar cemento, no podrá ser utilizada la mezcla posterior a 2 hs de su generación, por su tiempo de fraguado.

HUMEDAD

La humedad de la mezcla está dada en función al tipo de tierra a utilizar y su técnica constructiva (adobe, técnicas mixtas, tapia, entre otros). Esto depende de la plasticidad que se le quiera dar al material para llenar moldes, acomodarse entre entramados, apisonarlo, revocar o crear puentes de adherencia, entre otros.

Para comprobar la humedad correcta para la técnica de tierra comprimida, se utiliza una o ambas de las siguientes pruebas.

Opción 1. Tomar una porción de la mezcla, ya humedecida y comprimirla con la mano. Abrir la mano. La bola debe conservar las marcas de los dedos. Dejar caer la bola desde 1 m de altura. Ésta se debe desmoronar. En caso de que no se pueda formar una bola con la mano, la humedad es insuficiente. Si la bola caída se mantiene adherida, la humedad es excesiva. O realizar la segunda opción.

Opción 2. Tomar una porción de la mezcla, ya humedecida y formar una bola con ambas manos. Quebrar la bola con ambas manos. La bola debe estar compactada lo suficiente como para romperse en dos sin desmoronarse. Si se desmorona, la humedad es insuficiente. Si se deforma, pero se rompe a la mitad, la humedad es excesiva.



Fuente: PROTERRA 2011

COMPACTACIÓN

En las técnicas constructivas que la requieran, se debe ir colocando mezcla no superior a 20 cm de espesor. El compactador debe ser de entre 3 a

10 kg con base uniforme para compactar regularmente. El operador debe ejercer el mismo esfuerzo en cada golpe.

El control se realiza mediante el sonido producido por la compactadora que va cambiando sus emisiones a medida que avanza el trabajo y al final es “casi metálico”. El compactador ya no deja marcas al final y rebota.

MANTENIMIENTO

El hábito de mantener la construcción en buenas condiciones es la misma en todos los tipos de construcciones. El mantenimiento y durabilidad de las obras de tierra está relacionado con los detalles constructivos planificados y ejecutados en buena manera.

Se debe prestar especial atención al diseño y mantenimiento de las instalaciones hidro-sanitarias y protecciones de aguas fluviales. Con el paso del tiempo, si la tierra está en constante contacto con el agua, la construcción se puede ver comprometida.

CAPÍTULO V - CONCLUSIÓN

El Paraguay como país con un refuerzo de lluvias excepcional obliga a diseños de protección de la Arquitectura en tierra, así como a recurrir a estabilizantes del tipo cal o cemento para cumplir ese fin de protección de la obra.

El trabajo analizó las preferencias aceptables de contenido del suelo en lo que a cantidades de arena, limo y arcilla se refiere y adopta como proporción deseable la de 70% de arena y el 30% de limo y arcilla.

Adopta los suelos de la región Oriental en muchos casos con tierra proporciones de arcilla más altas, si se recomienda por la vía de la mezcla con arenas de río o arroyo corregir las medidas para hacer que las resistencias (proporcionadas por la arena) se incrementen.

Estudios realizados en el INTN muestran una alta similitud de los ladrillos de suelo-cemento con relación a los ladrillos cerámicos denominados comunes.

Se analizan dos técnicas constructivas que aplican el suelo cemento. Se trata del apisonado con encofrado y el bloque de suelo cemento (BTC). La analogía de técnicas constructivas que aplican el suelo-cemento son igualmente resistentes para el apisonamiento con encofrado y del BTC.

Ambas técnicas son muy eficientes dado que clasifican el material permitiendo que éste alcance valores máximos de resistencia a la compresión, utilizando en ambos casos mezclas con bajo tenor de agua necesaria para el apisonamiento (cuando más agua se utilice, al fraguar produce fisuras) dado que solo se asegura el agua necesaria para el fraguado (mezclas secas) con

humedades similares a las que se encuentran en el terreno natural evitando que se formen fisuras.

La selección de suelos para ambos casos busca contar con un suelo arenoso que no se adhiera de ser posible a los encofrados o moldes (BTC).

La técnica del apisonado ha utilizado tradicionalmente muros de cierto espesor de 30 a 40 cm. Las técnicas desarrolladas en el CEPED San Salvador Bahía, Brasil utilizan encofrados de 12 a 15 cm equivalentes a un muro de ladrillos con buenos resultados.

Disponer de una normativa para ambas técnicas permitiría el uso de ambas para propuestas de viviendas de interés social, lo que permitiría a la vez utilizar la tierra del sitio no solo para la construcción, sino para futuras ampliaciones.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se ha obtenido información aplicable para la normalización de construcciones con tierra, específicamente de la técnica de suelo-cemento en la región Oriental del Paraguay.

- El estado del arte de la normalización de la construcción con tierra en el Paraguay tiene mucho por avanzar en materia de investigación, abriendo posibilidad de trabajo y aportes en el futuro. Las normas generadas en la región de Latinoamérica son puntos de referencia importante, que necesita ser comprobado en la región.

- Las experiencias constructivas realizadas en la región Oriental del país que recurren a la tierra y al suelo-cemento como material de construcción, corroboraron que los lineamientos son aplicables para la región.

- Las patologías que presentan las experiencias examinadas que recurren al suelo-cemento con técnicas constructivas tipo BTC y Tapial sugieren recomendaciones a tener en cuenta para los lineamientos de una posible normativa.

- Los lineamientos para una normativa de construcción con tierra para la región Oriental en el Paraguay, específicamente suelo-cemento, indican la importancia de la selección del suelo para las técnicas constructivas de estudio.

PROTAGONISTAS DEL CAMBIO

El papel de las Universidades y de las Facultades de arquitectura, además de estudiar las corrientes actuales de la Arquitectura Internacional, sin caer en los ismos de moda, deben enseñar a partir de nuestra problemática nacional, incentivar la investigación aplicada y la producción experimental en la búsqueda de soluciones propias.

La ciudadanía cumple un rol fundamental al querer realizar mingas y participar activamente en proyectos, principalmente de viviendas y programas al servicio de sus comunidades. El cooperativismo y ayuda mutua se ven como características positivas para poder materializar estos proyectos.

Es allí donde se ve la brecha faltante para unir estos dos puntos, entre lo científico y la ejecución final. El eslabón faltante es el de los técnicos o profesionales capacitados que puedan gracias a las normas, facilitar la buena ejecución y garantizar una terminación de calidad para los usuarios finales.

Es necesario seguir desarrollando obras con este material para animar a los profesionales a experimentar su uso y valorar sus posibilidades, mientras que se contribuye para el concepto de sustentabilidad.

En un momento donde a escala mundial aumenta la conciencia sobre la relación hombre, sitio y tecnología para reducir el impacto de la acción humana sobre el ambiente, se buscan propuestas que conduzcan a un desarrollo responsable, donde los aportes desde el ámbito de la arquitectura al medio ambiente pueden tener un resultado favorable con la preservación del medio y sus recursos naturales, así como reducir en lo posible lazos de dependencia.

La información sobre el patrimonio en tierra en el país permite apreciar de qué manera esta forma de arquitectura es parte de las vivencias cotidianas. Se deben además valorar los esfuerzos por mejorar las formas de mantenimiento y la preservación de las mismas, así como por promover su uso en forma actual.

GOBERNACIONES LOCALES COMO IMPULSORES DE LA NORMATIVA

Los proyectos ejecutados han dado como resultado casos positivos generando un importante banco de datos validando los modelos teóricos aplicables al Plan Nacional de Mejoramiento de la Vivienda Rural. La situación es alentadora y el paso inicial para promover y desarrollar una política de mejoramiento y producción de viviendas como alternativa económicamente viable para atacar el déficit de viviendas. Se precisa disponer de una política que reúna las propuestas normativas para llevar a cabo estos proyectos y sus especificaciones técnicas que avalen el uso de este material.

El uso del material suelo-cemento en la construcción de viviendas para resolver el problema; es una alternativa técnica más. Para resolver el problema de la vivienda se debe partir de la solución de la problemática socio-económica, y se debe tener en cuenta todas las opciones constructivas: tradicionales, convencionales, mixtas y prefabricadas.

En los países en Vías de Desarrollo, con una débil infraestructura industrial y económica en el sector de la construcción, es el Estado quién debe asumir la principal responsabilidad en la solución del problema de la vivienda, a través de una legislación sobre la vivienda, la ayuda crediticia, el asesoramiento técnico a través de sus instituciones especializadas. El fomento y apoyo al desarrollo y la diversificación de la industria de materiales de la construcción. El apoyo a la investigación en la búsqueda de nuevos materiales y técnicas de construcción.

La tierra, una opción más para construir. Un material tan accesible que precisa ser más estudiado, promocionado e impulsado como normativa.

Se puede ver como aspecto positivo la descentralización de la gestión local donde los Municipios adquieren cierta independencia, autonomía económica y del poder político, donde ellos mismos se convierten en agentes gestores de sus problemáticas en las comunidades locales, convirtiéndose en potenciales agentes del cambio social. Colaboran con el proceso de construcción de la ciudad y la ciudadanía, logrando de a poco, mejoras considerables en la calidad de vida de los sectores más populares e inclusive

podrían convertir a sus ciudades, pueblos y compañías en localidades más ecológicas, aspecto tan necesario para su desarrollo integral y autosuficiente.

Se concluye con la siguiente frase: “No existen hogares pobres. Hay hogares pensados pobremente”.

BIBLIOGRAFÍA

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). *NBR 6502. Rochas e solos*. Rio de Janeiro: ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Bosio, Centro de tecnología apropiada y Centro de los Estados Americanos OEA. (1992). *Uso de la tierra y materiales alternativos en la construcción*. Asunción: Centro de tecnología apropiada y Centro de los Estados Americanos OEA.
- Correia, Mariana; Neves, Célia; Guerrero, Luis Fernando; Pereira Gigogne, Hugo. (2016). *Arquitectura de tierra en América Latina*. En M. Correia, C. Neves, L. F. Guerrero, & H. Pereira Gigogne (Edits.), *Arquitectura de tierra en América Latina* (págs. 163-164;). Lisboa, Portugal: Argumentum Edições.
- CYTED HABYTED. (Julio de 2003). PROTERRA. *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. Salvador, Bahía, Brasil.
- CYTED RED HABITERRA. (Febrero de 2001). Seminario Exposición Arquitectura en Tierra. La Paz, La Paz, Bolivia.
- CYTED-HABYTED. (2000). *Memoria del II Seminario y Taller Iberoamericano sobre Vivienda Rural y Calidad de vida en los Asientos Rurales*. San Luis Potosí: CYTED-HABYTED; Universidad Autónoma de San Luis de Potosí; Facultad del Hábitat y Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Fundación Wikimedia, Inc. (3 de Mayo de 2017). *Wikipedia*. (W. Project, Editor, P. b. MediaWiki, Productor, & Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0) Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de Wikipedia. La enciclopedia libre.: https://es.wikipedia.org/wiki/Material_de_construcci%C3%B3n
- Gutierrez. (1911). *Evolución Urbanística y Arquitectónica del Paraguay*. Asunción, Paraguay: Ediciones Comunerros.
- Habyted Cyted. (1999). *El Hábitat Iberoamericano en la Mira*. Asunción: Coordinación de HABYTED.
- Habyted Cyted. (2000). Boletín Electrónico Número UNO año 2000. (E. G. Nessi, Ed.) *Subprograma XIV Tecnología para viviendas de interés social*, pág. 15.
- HABYTED CYTED. (2000). *Seminario Iberoamericano. Vivienda de Interés Social. Situación actual y perspectivas*. Asunción: Red XIV.C «Capacitación y transferencia» con el apoyo de la Coordinación del Subprograma, HABYTED.
- HABYTED CYTED. (Septiembre de 2003). *Construção com terra*. Catálogo de la Exposición Proterra. Salvador, Bahía, Brasil.
- HABYTED CYTED. (2009). *Tecnología para la vivienda popular*. En R. C. XVI.C, *Tecnología para la vivienda popular*. Montevideo: Imprenta Rosgal SA.
- <http://dle.rae.es/?id=ObWToYw>. (s.f.). Diccionario de la Real Academia Española.
- Instituto de Investigaciones. Faculta de Arquitectura y Artes. Universidad Mayor de San Andrés y CYTED Red Habiterrra. (7 de Febrero de 2001). Seminario Exposición Arquitectura en Tierra. (R. Habiterrra, Ed.) La Paz, Bolivia.
- Instituto Internacional para el Desarrollo y Medio Ambiente; Presidencia de la República, Secretaría Técnica de Planificación y Agencia Internacional para el

- Desarrollo de los Estados Unidos de Norte América. (1985). *Perfil Ambiental del Paraguay*. Asunción, Paraguay: CROMOS S.R.L.
- Julián Salas Serrano. (1995). *Habiterra. Exposición Iberoamericana de Construcción de Tierra*. Santa Fe de Bogotá: Escala Revista de Arquitectura Fondo Editorial Taller Litográfico.
- Junta Municipal de Asunción. (2017). *Ordenanza N° 26.104/90. Reglamento General de Construcción*. Asunción: Junta Municipal de Asunción.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2011). *Manual de Carreteras del Paraguay. Normas para Materiales y Ensayos de Materiales*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Asunción: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas con tierra*. Kassel, Alemania: Universidad de Kassel.
- Pelli. (1986). *Notas para una Tecnología Apropiaada de la Construcción en América Latina*. Resistencia: p.
- Programa CYTED Subprograma XIV-D "Habyted". (1998). *Políticas Habitacionales en Grandes Metrópolis*. Ciudad de México: RED CYTED XIV-D.
- Programa CYTED-D. (1991). *Catálogo de Sistemas Constructivos*. Santiago de Chile: Talleres de Editorial Universitaria.
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. (1995). *Habiterra*. Santa Fe de Bogotá: Escala.
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. (1999). *Hacia un Diagnóstico de la Vivienda Popular en Iberoamérica*. Asunción: Red XIV.D Alternativas y Políticas de HABYTED.
- PROTERRA. (16-18 de Setembro de 2002). I Seminário Ibero-Americano de Construcao com Terra. Salvador, Bahia, Brasil.
- Real Academia Española; Asociación de Academias de la Lengua Española. (8 de Abril de 2017). *Real Academia Española*, Edición del Tricentenario. Obtenido de Diccionario de la Lengua Española: <http://dle.rae.es/?id=ObWToYw>
- Real Academia Española; Asociación de Academias de la Lengua Española. (8 de Abril de 2017). *Real Academia Española*, Edición Tricentenario. Obtenido de Diccionario de la Lengua Española: <http://dle.rae.es/?id=26t9lcH>
- Red Habiterra del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (1995). *Recomendaciones para la elaboración de Normas Técnicas de Edificaciones de Adobe; y Tapial; Ladrillos y Bloques de Suelo-cemento* (Primera Edición ed.). (R. T. CYTED, Ed.) La Paz, Bolivia: Ediciones Gráficas «E.G.».
- Red HABITERRA-CYTED. (1995). *Red Temática XIV A.: HABITERRA. Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social*. La Paz: Red Temática XIV.A.
- Red Iberoamericana PROTERRA. Martins Neves, Borges Faria, Rotondaro, Cevallos Salas, Hoffmann. (2011). *Selección de suelos y Métodos de control en la construcción con tierra*. (P. A. C., Ed.) Asunción, Paraguay: Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte. Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.

- Ríos Cabrera; González Cáceres; Gill Nessi. (2009). *Arquitectura + Patrimonio en Tierra del Paraguay*. En S. R. Cabrera, M. G. Cáceres, & E. G. Nessi, *Arquitectura + Patrimonio en Tierra del Paraguay* (1ra. Edición ed., pág. 188). San Lorenzo, Paraguay: Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte, Universidad Nacional de Asunción.
- S. Bestraten; E. Hormías; A. Altemir. (2010). *Construcción con tierra en el siglo XXI*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya E.T.S.A.B.
- Secretaría Nacional de la Vivienda y el Hábitat. (Enero de 2017). <http://www.senavitat.gov.py/blog/publicaciones/deficit-habitacional-en-el-paraguay/>. Obtenido de Hábitat Comité Nacional: <http://www.senavitat.gov.py/>
- Van Lengen, J. (1989). Manual del Arquitecto descalzo. En J. Van Lengen, *Manual del Arquitecto descalzo* (pág. 544). México D.F.: Editorial Concepto S.A.
- Viñuales, María Graciela; Martins Neves, Célia M.; Flores, Mario O.; Ríos, Silvio L.; (1994). *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. En *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. Centro Barro, Buenos Aires, Argentina: Impresiones Sudamérica, Buenos Aires, Argentina.

TERMINOLOGÍA

Terminología específica en Arquitectura de Tierra (Correia, Neves, Guerrero, & Pereira Gigogne, 2016, p.341-344), desarrollada con el objetivo de ampliar la investigación de la arquitectura de tierra en diferentes países, resultado de la terminología desarrollada por CI-EGS / Escola Superior Gallaecia, con la participación de representantes de 18 países Iberoamericanos. Más información detallada en:

http://redproterra.org/index.php?option=com_glossary&Itemid=18

Acabado de muros: Mezcla de barro y paja (obra negra) con una capa de yeso (obra blanca) aplicado sobre en tapial, así como el tarrajeo de cemento, aplicado sobre una malla de alambre clavada al tapial.

Adobe: Bloque de tierra, frecuentemente mezclada con paja, modelada de forma prismática, secada al aire, empleada en la construcción de muros de fábrica, paredes y tabiques.

Adobera, abancal: Molde para hacer adobes. Lugar donde se hacen los adobes.

Afata: Denominación popular del arbusto que se utiliza en los techos tradicionales, que se colocan sobre las varas (tirantes) y antes de la cubierta de tierra (en Argentina).

Aguja: Barra de hierro o madera que atraviesa horizontalmente los costales en su parte inferior y que los mantiene paralelos, sujetando, además las puertas o tableros del cajón que forma un tapial.

Amarre: Disposición de los adobes en la construcción de los muros. Este término se utiliza para indicar la unión entre dos o tres piezas longitudinales. Ejemplo: "amarre con tiento" (cuero sobado) o con alambre.

Arcilla: Terreno de sedimentación mecánica, constituyente de la corteza terrestre con partículas de un tamaño inferior a 0,004 mm. Componente coloidal activo no inerte de la tierra. En Argentina, el término greda es muy utilizado en las zonas rurales para indicar que la tierra es arcillosa.

Arriostre: Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de un muro. Puede ser vertical u horizontal.

Bahereque, bajareque, chocoto, quincha, fajina, estanteo, estanqueo, pajareque, taquezal: Sistema constructivo de paredes utilizando la madera y la caña como elementos estructurales, rellena con tierra mezclada con pino o paja.

Barbotina: Barro muy líquido que mezclado con caña larga u otras fibras se utiliza para formar bloques muy aislantes, de poco peso.

Barral: Sitio donde abunda, momentáneamente, el barro. Campos abiertos de mantos de greda depositados por el río. Barreal. Barrial.

Bloques de tierra comprimida: Bloques de tierra comprimida utilizando una prensa denominada Cinva Ram (proporciones estándar y modulares).

Bolas de tierra: Bola moldeada de tierra mezclada con paja que se deja secar, para ser posteriormente colocadas en el muro.

Botaletes: Piezas de madera que se colocan atravesadas dentro del encofrado. Sirven para que los tapias no se cierren, y se van desplazando a medida que se echa y se compacta la tierra.

Brenca: Medialuna de material más resistente, generalmente un mortero de yeso, que se forma en cada tramo de las tapias reforzadas, insertada en sus juntas, de ahí la denominación de tapia de brenca.

Cachetar: Cortar un pedazo del adobe para ajustarlo a la colocación de otro, en general es para emparejar una arista de adobe.

Caña: Tallo cilíndrico y hueco, interrumpido cada cierto tramo por nudos llenos. La altura promedio es de 3 m a 4 m. Generalmente crece a orillas de ríos y en zonas húmedas.

Cantera: Lugar de donde se extrae la tierra para hacer los adobes.

Cañizo: Cielorraso de cañas huecas.

Césped: Siglos XVII-XX, terrón con pasto que sirve de mampuesto, generalmente para revestir obras de fortificación.

Chancar: Moler cualquier material, especialmente adobes viejos para reutilizar la tierra.

Chilpe: Cinta de cabuya con corteza de aproximadamente 1 cm de ancho y que se usa para sujetar o atar las chacillas de un bahereque o cualquier otro elemento.

Chircal: Ladrillaría, tendal de adobes.

Chocoto: Tierra para hacer bahereque.

Colombage: Estructura de madera cuyos vacíos se llenan con ladrillos, bloques, adobe o con “Clayonnage-garnisage”.

Cortar: Faena de moldeo de los adobes en un molde generalmente de madera.

Costal: Cada uno de los listones de madera, gruesos y agudizados por la parte inferior, que atravesados por las agujas, sirve para mantener las fronteras de los tapiales en posición vertical.

Caruhuilla: Cañita fina con la que se hace cierto tipo de enquinchado. El propio sistema de enquinchado.

Cutipar: Utilizado en los siglos XIX, XX: cernir los materiales en polvos, especialmente la tierra.

Dormir: Dormir el barro. La tierra mojada y batida se inunda con agua y se la deja dormir o reposar hasta el día siguiente, los maestros adoberos recomiendan “cuanto más tiempo mejor” ... en el segundo o tercer día se incorpora la fibra. Dependiendo del saber popular de la región se deja dormir más o menos el barro.

Embarrar: 1) Utilizado en el siglo XIII; cercar, sitiar. 2) Poner barro a un muro, revocar.

Emboquillar: Acción de rellenar y enmarcar las juntas de muro de piedra y de cielorraso con barro fluido.

Enchacillar: Colocar las chacllas en un bahereque.

Empalmar: Que el adobe quede por la mitad ajustado al próximo y colocado horizontalmente.

Empapar: Echar agua suficiente para poder trabajar adecuadamente la mezcla de tierra.

Emplenta: Pedazo de tapia que se hace de una vez.

Encamar: Asentar la teja sobre una cama de barro.

Encalar: Pintar el muro con la lechada de cal.

Encestado: Sistema de entramado de ramas delgadas, a manera de cesto, para formar muros que se rellenan con barro.

Encitado: Hilada de ladrillo, piedra o madera dispuesta horizontalmente entre distintos niveles de tapia. Conjunto de cintas.

Enlodado: Tapar juntas o grietas con lodo.

Entortado: El barro utilizado para los techos de torta; el propio techo de torta; calidad de techo de torta.

Estabilización: Procedimiento de mejora de las características de la tierra fundamentalmente las relativas a propiedades como resistencia mecánica y durabilidad, mediante la adición de productos o el empleo de técnicas de compactación manuales o mecánicas.

Estantear: Preparar estanterías.

Estantería: Conjunta del entramado para el estanteo antes de recibir en barro.

Forma, Gradilla, Marcel: Molde para hacer adobes.

Gavión: Cestón, por lo general sin fondo, que lleno de tierra sirve para formar muros, especialmente de defensa; actualmente se usa el mismo sistema con otros materiales como alambre y piedras.

Granceado: Tipo de revestimiento que busca conseguir un acabado granuloso, basto, y rudimentario, dando al paramento un sabor rústico muy original.

Guallar: Colocar la paja del techado y prepararla para ser entortada.

Guásimo: Goma del árbol homónimo que se agrega al barro de construcción.

Hilada: Serie horizontal de adobes, ladrillos, sillares de piedra o de otros elementos constructivos, que se disponen para formar un muro, una bóveda o un tabique.

Masapé, Masapei, Légamo: Barro pegajoso.

Machón, Refuerzo: Elemento vertical estructural dispuesto en las esquinas de las edificaciones, entre el contrafuerte y el vano, el que cumple una función de estabilización de la estructura portante.

Mazonear: Pisar con el mazo.

Muro arriostrado: Muro cuya estabilidad lateral ha sido mejorada por la presencia de arriostres horizontales y/o verticales.

Paja: Tallo u hojas de las plantas gramíneas (arroz, cebada, trigo, ichu, grama).

Palo a pique: Pared formada por rollizos verticales muy juntos hincados en la tierra; puede estar embarrado o no.

Pared de mano: Muro fabricado por moldeo directo, superponiendo grandes puñados de barro amasado.

Pared maestra: Muros de carga que pueden ser de varios tipos: macizo de tapial o de adobes, generalmente los de la fachada principal y posterior; y de entramados de madera o cuajos de adobes en paredes transversales, paredes interiores y en las fachadas de calles con soportales.

Pasta de repello: Es la fabricada con tierra de flor, ceniza de fogón y excremento de vaca.

Pilero: Perón que amasa el barro con los pies.

Pirca: Muro de piedra (generalmente bajo), sin labra y asentada sin mortero. Puede ser una construcción de simple muro o, de doble muro, el cual es rellenado con tierra, barro. Técnica constructiva nativa de Argentina.

Pisón, mazo: Instrumento grueso y pesado, de forma cónica o piramidal, que se maneja verticalmente mediante un palo largo que arranca desde el centro de su base superior y con el que se aprieta, compacta, maciza y apisona la tierra o alguna superficie.

Podrir: Faena de maceración del barro previo a su moldeo. Una vez mezclado con el estabilizante vegetal, éste se deja reposar un par de días antes del moldeo de los adobes.

Portera: Conjunto de tablas que cierran el tapial en sus extremos.

Putuco: Edificio realizado totalmente con champas, aun los techos que se forman por hiladas avanzadas.

Quincha: Lo mismo que bahereque, bajareque, chocoto, fajina, estanteo, pajereque, taquezal. Técnica mixta de muros, perteneciente a la familia de los entramados. Compuesta de una armazón estructural (madera o bambú), rellena con tierra o barro en estado plástico, a la cual se ha añadido fibras vegetales.

Quincherero: El que construye quinchas o quinchos.

Repello: Capa de mortero aplicada directamente sobre un paramento el cual habrá sido preparado previamente con un ensabietado.

Revocar: Cubrir con una capa fina de barro o yeso una pared.

Revoltera: Mortero de barro y piedra; malhecho.

Salchicha, Salchichón: Fajina mucho más larga que la regular (6 a 30 m) que se usa para abrazar y cruzar las otras fajinas.

Sanco: Mezcla de barro, muy espesa.

Tabique: 1) Técnica mixta para muros, de la familia de entramado. Se arma una estructura de madera rolliza en forma de postes separados en 1,5 m con un entramado de chuchío o tacuara (bambú). Se rellena el muro con una mezcla de tierra y paja. 2) Utilizado en los siglos XVI-XX. Muro de simple cerramiento, generalmente interior.

Tacana: 1) Martillo. 2) Pisón para tapiar.

Tapia acerada: La que por cada lado lleva una capa de revoque o mezcla. La pared hecha entre tapiales con tierra apisonada y mezcla en sus parámetros, con objeto de darle más dureza y defenderla de la intemperie.

Tapia real: La tapia construida con mezcla de tierra y cal.

Tapial, tierra apisonada, tierra pisada: 1) El término tapial habitualmente se emplea para definir tanto la técnica constructiva, como el elemento resultante. Es un proceso constructivo que consiste básicamente en construir muros de tierra apisonada y compactada mediante su apisonamiento

en estado ligeramente húmedo, dentro de encofrados deslizantes de madera (tapialera). 2) Muro divisorio o medianero. 3) Utilizado en los siglos XVIII-XX. Tablero que sirve de encofrado en obras de tapia. 4) Utilizado en los siglos XIX-XX. Conjunto de paredes de tapia. 5) Utilizado en España, en el siglo XVIII. Tablero que se clava por un lado de un entramado para que el relleno que se vaya poniendo quede alineado. 6) Utilizado en México, en el siglo XVIII, cerco de obra, generalmente de madera.

Tapiar: 1) Utilizado en los siglos XIII-XX. Fabricar tapias. 2) Cerrar un vano con cualquier material.

Tejamaní: Tierra con entramado, parecida a la quincha.

Tendal: 1) Lugar donde se amasa el barro para formar adobes, tejas, etc. 2) Lugar donde se cortan y se secan estos elementos. 3) Por extensión, lugar donde se hacen las diferentes mezclas.

Teroni: Similar a la construcción con adobe, o con *soddys*, los bloques de cespedón secados al sol se utilizan para la construcción de muros.

Terracete: Hormigón de tierra estabilizado con cemento en Estados Unidos.

Tierra estabilizada: designa la mezcla de arcilla arenosa, agua y algún agente estabilizante con el objeto de aumentar la resistencia al agua. Esta mezcla se utiliza también en la construcción de vías.

Terrón, tepe, cagahua, tepetate, champa: Técnica mixta de albañilería para muros. Se extrae del terreno los bloques de forma trapezoidal. La tierra tiene que ser dura y tener raíces y fibras vegetales. El terrón es extraído con un azadón.

Torta: 1) Masa de barro que se utiliza para diferentes partes de una obra: revoques, rellenos, terminaciones. 2) Capa de barro que se coloca sobre un entramado para formar la cubierta. 3) Sistema consistente en una masa de barro aplicada a un entramado, generalmente en posición horizontal o inclinada.

Torteador: Sistema de torta.

Torteador: Persona que fabrica y repara los techos de torta.

Tumbado: Cielorraso de barro aplicado sobre cañas, esterilla, malla metálica, etc.

Tuyutí: 1) Greda, barro blanco. 2) Barreal de grada.

Verduga: Capa de restos de ladrillos o tejas partidos/as que se introducen entre los bloques de tapia o adobón, con el propósito de asegurar la estabilidad estructural ante fuerzas sísmicas horizontales.

Veril: 1) Laja con la que se forma el alero de los techos de tierra. 2) El propio alero de los techos de tierra.

Volcanar: Erosionar los muros de tierra por acción de las aguas; derrubiar.

Zaborro: Cascote de yeso.

Zarzuela: Panel de zarza o ramaje sobre el que se asientan las tejas con barro.

ANEXOS

Anexo 1: Prevención, Conservación y Restauración.

Texto traducido al castellano.

Todo el patrimonio arquitectónico está dotado de una conciencia material, susceptible a deterioro, ya que la materia prima que lo compone es perecible. Consecuentemente, existe la necesidad de intervención física adecuada para conservar el bien cultural.

El sentido común recomienda que siempre es preferible no intervenir, que intervenir incorrectamente o de modo inconsciente, pues cualquiera sea la intervención, esta tendrá siempre un impacto físico que, si no fue bien planeado, podrá a medio y largo plazo, acelerar el deterioro del bien arquitectónico.

La intervención preventiva en el patrimonio (o intervención indirecta), tiene como objetivo principal, atrasar o impedir la intervención directa (cualquiera sea el grado de intervención definido). La intervención preventiva comprende un conjunto de operaciones de conocimiento y análisis, que se ejecutan sin intervenir directamente sobre el objeto, y que se inicia con el “conocimiento” del bien patrimonial (fase de investigación), extendiéndose a estudios analíticos de examen de la estructura arquitectónica y de la consistencia material del bien cultural. Es en la investigación preventiva, que se realiza la documentación, el inventario, el catálogo, pero también, entre otros, la sensibilización de las poblaciones para preservar el patrimonio.

Cuando la investigación preventiva ya no es suficiente, se recurre a la intervención directa, que consiste en la aplicación de técnicas y tratamientos necesarios para posibilitar la preservación del bien patrimonial o la reparación de daños producidos sobre el mismo. Las técnicas de intervención en el patrimonio pueden ser distintas. La intervención física en la conservación de la arquitectura de tierra podrá contemplar lo siguiente:

1. Medidas preventivas, como reentrar, utilizar coberturas, controlar la erosión, estabilizar el sitio, integrar regularmente “capas de sacrificio”, realizar mantenimiento regular, entre otros;

2. Materiales de tierra modificados, como estabilizantes, aditivos, adhesivos, entre otros;

3. Consolidantes inorgánicos, orgánicos naturales y orgánicos sintéticos; y

4. Estabilización de estructuras por medio de revestimiento de superficies, de técnicas no-invasivas, o de técnicas intrusivas.

La intervención debe ser el último recurso para conservar un bien patrimonial y no la primera iniciativa para su protección. Se debe evitar sustraer materiales o elementos de bien patrimonial, que hacen parte de su consistencia, así como evitar adicionar nuevos materiales, pues el objeto tiene que encontrar un nuevo equilibrio con éstos.

La intervención directa debe ser mínima, utilizándose métodos que sean reversibles. Cuando se realizan reintegraciones o reconstrucciones de partes eliminadas, la intervención debe ser bien documentada y archivada, lo que no siempre ocurre durante la reconstrucción y la restauración de arquitectura en tierra. Se recomienda la realización de intervenciones que armonicen con el conjunto, en los cuales se denoten diferencias de intervención entre lo nuevo y lo antiguo. Es recomendado buscar la consolidación y estabilización de elementos degradados y evitar la sustitución simple de elementos.

En la actualidad hay una diferenciación asumida entre los conceptos de “conservación” y de “restauración”, consecuencia de un debate de siglos, que también se denotan en las distintas teorías de conservación y restauración. La intervención de conservación es definida como el acto de conservar, de mantener y transmitir el “soporte material” del objeto, tarea primordial de una disciplina científica como la Conservación. La transmisión de la consistencia física del patrimonio arquitectónico supone la perduración de los valores culturales, históricos o artísticos del bien arquitectónico. Significa así, que se intenta preservar la edificación lo más posible, tal como se encuentra.

La intervención de restauración es definida como el acto de reestablecer la imagen formal del objeto original, y de re sustituir una nueva unidad potencial. En la conservación se trabaja con una “materialidad” que define el objeto arquitectónico. Las operaciones de conservación se destinan a consolidar los materiales y a transformarlos en resistentes a deterioro.

En la restauración se trabaja con la “imagen del material”, de modo a poder éste transmitir un todo formal y unitario. Típicas operaciones de restauración son llenar vacíos, la limpieza y las operaciones de eliminación de “falsos históricos”, que pudiesen perjudicar la unidad formal física o estética del bien arquitectónico, y que pudieran adulterar los componentes materiales de la edificación, o que pondrían en cuestionamiento la “autenticidad” material y documental del bien cultural.

Sin embargo, en la intervención patrimonial en tierra, se verifica que algunas de las percepciones más comunes, son incorrectas. Citadas a continuación;

1. Se busca una imagen del pasado o una imagen que no existe, algunas veces con demasiada intervención de los conservadores, sin darse cuenta hasta tener una intervención de restauración estilística, la semejanza de las restauraciones de Viollet-Le-Duc;

2. Se realizan intervenciones en patrimonio de tierra, utilizándose el mismo material, pero optándose por técnicas constructivas diferentes, lo que dificulta el comportamiento uniforme entre las distintas fases de intervención;

3. Se tienen la noción incorrecta, que, si bien el patrimonio es en tierra, se puede destruir lo existente e reconstruirse con el mismo material;

4. No se tiene en consideración el conocimiento del material y de las técnicas constructivas para saber cómo intervenir en arquitectura y construcción con tierra.

Se deben tener en cuenta la importancia de la regulación, la intervención más estructural, destacándose la importancia de la conservación preventiva y de la participación de la comunidad, la relevancia de las pos-graduaciones en el área patrimonial y de la alteración de las instituciones nacionales de patrimonio, la importancia que debe ser dada en la conservación asociada a la reglamentación para la prevención de riesgos, la planificación de legislación adecuada, la intervención patrimonial cuando no hay legislación adecuada y la importancia que debe tener la creación de conocimiento, la importancia del trabajo en comunidad como medio de trabajo integrado, la valorización de la normativa para la protección de patrimonios, la validación de las intervenciones

en el patrimonio de tierra, el análisis histórico de las intervenciones realizadas en el patrimonio nacional, y finalmente, la evolución de las estrategias y de las metodologías de intervención en patrimonios de tierra.

La interpretación de términos y conceptos asociados a la intervención en el patrimonio puede variar ampliamente, pero para una intervención equilibrada en el patrimonio en tierra, el equipo interdisciplinar de especialistas, debe tener un amplio conocimiento teórico, histórico, artístico y técnico sobre el objeto arquitectónico, además de un conocimiento profundo de la arquitectura y construcción con tierra en la región. (Correia, Mariana; Neves, Célia; Guerrero, Luis Fernando; Pereira Gigogne, Hugo, 2016, p. 163-164)

Anexo 2: Requisitos Generales para construcción con tierra

Selección de material

Antes de elegir algunos materiales para construir casa o edificios para la comunidad hay que pensar en:

1) Cómo responde el material contra el frío o calor, es decir, si el material ayuda a mantener su casa confortable.

2) Si los materiales son de la región; si hay suficiente, que no se dependa de otras personas o condiciones de fabricación y transporte - estamos hablando de los materiales básicos, claro que existen cosas nuevas que vienen de afuera de la zona.

3) Si en la región existe la posibilidad de convertir la materia prima en materiales de construcción como madera, taller de fabricación de tabiques.

4) Si hay en la comunidad bastante mano de obra para utilizar tal tipo de material. Por ejemplo, no se van a instalar ventanas de hierro si no hay herrero; entonces el carpintero local las hace de madera.

5) Cuando no hay suficiente material local, cómo se va a traer de afuera para que no se rompa y mientras se tiene guardado, cómo evitar que se eche a perder.

6) Cuál es el tiempo de duración de los materiales y si son apropiados para el clima de la región. Algunos materiales se desgastan muy rápido en un clima duran más en otro.

7) Cómo es su mantenimiento. Será necesario poner mucho dinero y esfuerzo para mantener sus condiciones durante la vida de la casa.

8) La familia o la persona que tenga para comprar todos los materiales necesarios para terminar la obra que se pueda habitar al menos una parte de la casa. Sucede varias veces que la gente tenga que parar la obra porque gastaron su dinero en la compra del material tal vez menos adecuado para las condiciones del lugar. (Van Lengen, 1989)

Requisitos Generales para construcción con tierra de Adobes y Tapial

Requisitos mínimos

Se deben tener en cuenta las normas de construcción locales vigentes.

Estructuras especiales

Para estructuras particulares en muros de adobe, BTC, para arcos, bóvedas, columnas aisladas, chimeneas, balcones, entre otros. Deberán cumplir con las exigencias generales adaptadas a las necesidades particulares según las exigencias en los demás ítems.

Proyecto Arquitectónico

La estructura, seguridad y resistencia de la obra deben estar antes que los requisitos arquitectónicos y la estética.

Altura Máxima de las Edificaciones de Tierra

Las construcciones de tierra se limitarán a dos pisos, con una altura máxima de 5.5 m. De existir tímpanos, éstos deberán estar arriostrados de manera adecuada. Se recomienda soluciones estructurales rígidas en planta baja y más livianas en la planta superior.

Método de Diseño

Las construcciones de adobe simple, adobe estabilizado y de tapial serán diseñadas por métodos racionales de cálculo basados en los principios establecidos por la mecánica y la resistencia de materiales.

Se empleará el método de Esfuerzos Admisibles o Permisibles, suponiendo un comportamiento lineal y elástico del material. La determinación de los esfuerzos actuantes en los diferentes elementos se hará a través de un análisis elástico para diseños simples. Para interacción con otros elementos como soleras, dinteles, entre otros, se deberán emplear los métodos acordes.

Podrán adoptarse otros métodos de diseño, como por ejemplo el Diseño por Resistencia o Diseño Último, siempre y cuando estén avalados por suficiente información teórico experimental y se fijen cuidadosamente los

coeficientes de amplificación o mayoración de cargas y los factores de reducción de resistencias.

Al establecer los coeficientes de seguridad, se tendrá en cuenta la calidad de ejecución de las obras.

Al determinarse los esfuerzos en los muros se tendrá en cuenta los efectos producidos por las cargas muertas, sobrecargas, cargas de viento, cargas excéntricas o diferenciales, etc. de acuerdo a los valores y combinaciones según las normas locales pertinentes.

El diseño de los elementos de concreto armado y sus refuerzos, se hará de acuerdo a los requerimientos de las normas nacionales pertinentes.

Refuerzos

Se deberán colocar refuerzos adicionales y arriostros que mejoren el comportamiento integral de la estructura, si así lo requiere.

Instalaciones Sanitarias

Las tuberías de las instalaciones sanitarias en los muros serán expuestas, o se alojarán en cavidades dejadas durante la construcción que permitan su inspección continua y reparación. Por ningún motivo se excavará o perforará el muro para alojar las tuberías de las instalaciones sanitarias.

Conjunto Estructural

El conjunto estructural de las edificaciones estará compuesto de: cimentación, muros, elementos de arrioste vertical y si fuese necesario también horizontal, techo y refuerzos si fuesen necesarios.

Cimentación

La cimentación deberá transmitir la carga de los muros de acuerdo a la capacidad portante (esfuerzo admisible) del terreno de cimentación.

Los cimientos para los muros podrán ser de suelo-cemento, concreto armado, concreto ciclópeo, mampostería de ladrillo de arcilla cocido o de piedra unida con morteros de mayor resistencia a la compresión. En suelos

compresibles o con posibilidad de asentamientos diferenciales, deberá estudiarse la conveniencia de utilizar una cimentación de concreto reforzado.

La profundidad en ningún caso será menor de 0.4 m. La cimentación deberá apoyarse sobre un suelo estable, debajo de la capa de suelo de cultivo o capa vegetal y debajo de la capa de suelo alterable por la acción de las heladas.

La cimentación (sobrecimiento o muro de nivelación) deberá sobresalir por lo menos 0.20 m sobre el nivel del suelo, o la altura necesaria para evitar el contacto directo de los muros con el agua retenida en el suelo o la acumulada en la superficie por las lluvias o aniegos.

Es necesario nivelar el suelo teniendo en cuenta los desniveles del terreno y dónde escurren las aguas para la implantación de la obra. Es recomendable realizar una base para futuros muros e inclusive plantear un sobrecimiento

Muros de adobe y tapial

Deberá estudiarse la estabilidad de todos los muros. La estabilidad de los muros se conseguirá definiendo dimensiones adecuadas, colocando arriostres o utilizando refuerzos de otros materiales si fuesen necesarios.

El espesor de los muros será función de su altura libre y de su largo efectivo y tendrá como valor mínimo 0.3 m

En general los vanos deberán estar centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre.

Los bloques de tierra para la construcción de los muros no tendrán restricción alguna en sus dimensiones. Estos serán macizos; de tener perforaciones o alveolos, estos no representarán más del 15% del área bruta en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento. Los bloques deberán estar secos antes de su utilización, el tiempo de secado dependerá de las condiciones climáticas, pero en ningún caso será menor de quince días.

Deberá verificarse la calidad y resistencia a la compresión del bloque de tierra mediante ensayos de campo o de laboratorio.

El tipo de aparejo (amarre o forma de colocar los adobes entre sí) no tendrá restricciones, salvo la de asegurar que los adobes se entrelacen de tal modo que no se formen planos verticales de juntas o mortero.

En la construcción de muros de tapial, deberá utilizarse suelos arcillosos (plásticos), seleccionados de acuerdo al test de campo de Resistencia Seca. Si el suelo tuviera demasiado contenido de arcilla, deberá mezclarse con arena gruesa para estabilizarlo.

Para controlar la fisuración por secado del barro, se añadirá paja en porcentajes no mayores del 0.5 % en peso (una parte de paja en volumen por cuatro partes de suelo).

La cantidad de agua para la compactación del suelo dentro del encofrado o molde o tapialera, deberá ser la mínima posible, mientras se obtenga una mezcla trabajable y no se presenten dificultades para apisonar la tierra (la tierra puede pegarse al pisón o el agua puede salpicar incómodamente). La cantidad de agua estará también limitada de tal modo de obtener encofrados limpios al retirarlos (sin que se pegue el barro al encofrado) y que no se produzcan deformaciones visibles en el muro luego del desencofrado.

La compactación del suelo se realizará con pisones manuales cuyo peso varíe entre 10 y 15 kg y se realizará en capas de tierra cuya altura, ya compactada, sea alrededor de 0.10 m.

La altura del muro a compactar en cada faena (normalmente un día) no deberá exceder de 0.50 m. En consecuencia, esta será la altura de los bloques, o hiladas de los muros de tapial.

La máxima longitud de cada bloque o tapia, de preferencia, no excederá de 1.2 m. Entre hiladas consecutivas las tapias deberán quedar traslapadas.

El tapial poco compactado no es resistente y la compactación en exceso es inútil. Se debe compactar la tierra hasta que el pisón rebote en la superficie. Como medida referencial, con un pisón de 10 Kg., compactando un área de 0,1 m² se debería golpear unas 60 veces.

La junta más eficiente entre hiladas de tapial, es la que resulta de rociar agua y escarificar (rayar) la superficie de contacto entre dos hiladas. La

inclusión en las juntas de grava, piedras, ramas, cañas o materiales ajenos a la tierra misma, no incrementa la resistencia de los muros de tapial, al contrario, puede reducir la resistencia por la menor compactación en esa zona.

Mientras no se realicen pruebas o ensayos específicos de laboratorio, se considerará que la resistencia de un muro de tapial es semejante a la de un muro de adobe, pudiendo utilizarse los valores de esfuerzos admisibles especificados para adobes.

El diseño y refuerzo de los muros de tapial tendrá las mismas características que el requerido para los muros de mampostería de adobe, excepto que el refuerzo interior de los muros de tapial deberá ser de varillas de madera (por ejemplo, Eucalipto) ya que la caña se aplasta durante la compactación.

Elementos de arriostre

Para que un muro de adobe o tapial se considere arriostrado, deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, que garantice una adecuada transferencia de esfuerzos y un trabajo conjunto e integrado del muro y sus arriostres.

Los elementos de arriostre se diseñarán como apoyos del muro arriostrado, considerando al muro como losa, sujeto a fuerzas de inercia perpendiculares a su plano. El área contribuyente de los muros sobre el arriostre (horizontal o vertical) se podrá determinar en base a los patrones de líneas de rotura en losas.

Los elementos verticales de arriostre (muros de arriostre o contrafuertes) tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir las fuerzas cortantes a la cimentación. La verificación de los arriostres deberá contemplar su estabilidad frente al volteo en su plano y su resistencia al cortante por efecto de las fuerzas de inercia propias y de las actuantes en el muro al que arriostra. Se verificará también la estabilidad del arriostre frente a fuerzas perpendiculares a su propio plano.

Cuando el arriostre vertical este constituido por un muro o contrafuerte, su longitud en la base no será menor que: $l_0 = 0,95(nch I)^{1/2}$; donde: $n = tm/ta$

(espesor del muro / espesor del arriostre), c coeficiente sísmico de diseño (adimensional) y h altura libre del muro $l = (l_1+l_2) / 2$

Se considerará como arriostre horizontal al elemento o conjunto de elementos que posean una rigidez suficiente en el plano horizontal, capaz de limitar el desplazamiento lateral del borde superior de los muros. Las vigas soleras de madera o de concreto armado adecuadamente dimensionadas, normalmente cumplen con esta exigencia; en caso contrario el borde superior del muro deberá considerarse como libre.

Es recomendable el uso de soleras de concreto armado, ya que ellas permiten anclar fácilmente el refuerzo vertical de los muros, y de existir un segundo entepiso o piso, permiten el anclaje de los paneles de madera o quincha. Por su rigidez en el plano horizontal, éstas mejoran la conexión entre los muros logrando un mejor comportamiento de la edificación.

Techos

Los techos serán livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros y evitando concentraciones de esfuerzos en los mismos. El sistema de techo deberá fijarse adecuadamente a los muros a través de la viga solera.

El sistema estructural del techado deberá ser diseñado y construido de tal manera que no produzca en los muros empujes laterales por efecto de las cargas de gravedad (peso propio, sobrecarga). En los techos inclinados (una o dos aguas) el empuje producido por el techo sobre los muros deberá ser absorbido por tirantes u otro elemento de soporte.

Una membrana rígida puede conseguirse mediante el empleo de una viga solera rígida en su plano, firmemente anclada a los muros, junto con un adecuado arriostramiento del techo.

En el caso de utilizar armaduras, el sistema estructural de arriostre del techado deberá garantizar su estabilidad lateral.

De acuerdo a las condiciones climáticas del lugar, se definirán las pendientes de los techos y la longitud de los aleros, según el tipo de recubrimiento y protección contra el intemperismo necesarios.

Refuerzos

Muros de adobe

Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material estable y resistente, que sea compatible con el material del muro. Los refuerzos deberán garantizar la conexión de los muros en las esquinas y encuentros para evitar la separación y desplome de los muros u otros elementos adosados. Se prestará especial cuidado a los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar un comportamiento eficaz.

El refuerzo mínimo recomendado es la viga solera en el extremo superior de los muros, con el fin de proporcionar continuidad entre los muros transversales, aumentar la rigidez, la resistencia a la flexión y permitir una mejor unión de los muros con el techo.

La viga solera podrá construirse de concreto armado. Esta viga será continua, de 0.15 m de altura como mínimo y ancho igual al del muro. Se recomienda que la viga solera sirva al mismo tiempo de dintel para los vanos de puertas y ventanas.

La viga solera de concreto armado deberá anclarse firmemente a los muros. Si no existe refuerzo interior en los muros ni refuerzo exterior de malla de alambre, este anclaje puede lograrse rasurando el muro en su borde superior y colocando en las esquinas un espolón de anclaje, si fuese necesario.

Si se utiliza refuerzo interior de madera en los muros o refuerzo exterior de malla de alambre, pueden omitirse la ranura en el borde superior del muro y el espolón de anclaje, siempre y cuando el refuerzo este firmemente anclado en la viga solera.

Si la viga solera es de madera de alma abierta (dos vigas paralelas) con travesados en forma de escalera colocados al costado de cada uno de los refuerzos verticales para permitir el anclaje de éstos. Esta viga será continua, con un ancho igual al del muro. Sus medidas se determinarán por cálculo y no será menor a 100x100 mm (4"x4"). Debe prestarse especial cuidado a las conexiones de las vigas en las esquinas y a los empalmes.

La viga solera de madera debe anclarse firmemente a los muros. Este anclaje se logrará fijando adecuadamente el refuerzo vertical de los muros a la

viga solera. En el caso de no existir refuerzo vertical se utilizarán anclajes de acero corrugado (diámetro mínimo 12 mm) embebidos en alveolos dejados en los muros (o en las juntas verticales) los que se rellenarán con mortero de cemento.

Deberán colocarse refuerzos interiores de los muros horizontalmente en coincidencia con el nivel superior de todos los vanos. Para ello, deberán coincidir los niveles superiores de los vanos de puertas y ventanas.

Adicionalmente, se colocará refuerzo vertical interior de los muros, ya sea en un plano central entre unidades de adobe, o en alveolos de 50 mm de diámetro como mínimo dejados en los adobes. La distancia máxima entre los refuerzos verticales será de 0.60 m. En ambos casos se asegurará la adherencia de la caña, rellenando completamente los vacíos con mortero.

Muros de tapial

Los muros de tapial podrán reforzarse interiormente con varillas rectas de Eucalipto o similar colocadas de manera horizontal unidas o cosidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas. El refuerzo horizontal se sujetará al vertical (por ejemplo, con alambre galvanizado).

El refuerzo vertical de los muros de tapial deberá ser continuo. Como mínimo deberán existir dos varillas de Eucalipto o similar que crucen a cada bloque o tapia. Las varillas deberán estar a 0.20 m como mínimo del borde de cada tapia.

El refuerzo vertical de los muros de adobe y tapial deberá estar firmemente anclado a la cimentación y a la viga solera.

Se utilizará caña madura y seca o varillas delgadas y rectas de Eucalipto u otros similares. La caña o el Eucalipto deberán estar tratados para efectos de preservación. El diámetro mínimo de la caña vertical será de 25 mm y el de las varillas de Eucalipto 50 mm.

Morteros para la mampostería de abobe

Las juntas de la mampostería constituyen las zonas críticas por donde tienden a desarrollarse las fisuras de los muros. Deberán recibir el mayor cuidado tanto en la selección del suelo o mezclas de suelo como en la

construcción de los muros. El mejor mortero será el que tenga mayor adhesión con los bloques y esto no necesariamente son los morteros de mayor resistencia a la compresión. Los morteros se clasificarán en dos grupos:

Mortero Tipo I, en base a cemento y arena

Morteros de cemento-arena de 1:5 a 1:10 de relación volumétrica. Podrán emplearse morteros de cemento-cal hidratada- arena en proporciones 1:1:5 a 1:1:10. Con resistencia a compresión de 3 MPa (30 kS/cm²).

Deberá utilizarse arena gruesa N° 4 y N° 30. Deberá agregarse la mínima cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad y asegure juntas verticales y horizontales completamente llenas. Las superficies de los adobes deberán humedecerse antes del asentado.

Mortero Tipo II, en base a suelos arcillosos con o sin aglomerantes

Tendrá mínimamente la calidad que los bloques utilizados. Debe reducirse al mínimo la fisuración del mortero producto del proceso de secado.

Se recomienda “dormir” el barro (dejarlo remojar) como mínimo 48 horas antes de su utilización. Deberá emplearse la menor cantidad de agua que sea necesaria para lograr un mortero trabajable. Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 20 mm de espesor y deberán ser llenadas completamente con el mortero. Es posible utilizar aglomerantes o estabilizantes (cemento, cal, asfalto, etc.) en el barro para mejorar su calidad y resistencia a la humedad, en cuyo caso deberá tenerse en cuenta siempre la necesidad de lograr la mejor adhesión entre el mortero y los adobes.

Recubrimiento y Protección contra el intemperismo

Es indispensable que los efectos de la intemperie y la humedad no afecten la resistencia de las construcciones de tierra. Cuando el suelo se estabiliza con aditivos (emulsiones naturales, emulsiones asfálticas, cemento, etc.) para reducir la permeabilidad, no será necesario aplicar enlucidos a los muros; de no ser así, deberá estudiarse la posibilidad de proteger los muros mediante enlucidos resistentes a la acción de la erosión y el intemperismo. Los enlucidos podrán ser de suelo estabilizado o de morteros de cemento o cal.

Las pendientes de los techos y la longitud de los aleros deben ser acordes a las condiciones climáticas de cada lugar. En zonas lluviosas se recomienda que los aleros de los techos sobresalgan no menos de 0.5 m para proteger la parte superior de los muros de la lluvia; la parte baja puede protegerse con un enlucido de mortero de cemento de no menos de 0.5 m de altura.

El empleo de un sobrecimiento de concreto ciclópeo o de mampostería de piedra asentada con mortero de cemento tal como se define en la sección de cimientos, es indispensable para aislar el muro de la humedad del suelo. Es recomendable impermeabilizar la parte superior del sobrecimiento antes de asentar la primera hilada de adobes o de tapial.

Para proteger la base de los muros es importante realizar una vereda perimetral del mismo ancho que el voladizo del techo, una vez culminada la obra. Los bordes de esta vereda se pueden hacer con piedras o bloques de concreto. La vereda se puede elaborar con suelo compactado o mejor todavía con suelo-cemento apisonado. Se puede también realizar un acabado final con un afinado de arena-cemento.

Fabricación de Bloques de tierra

Los adobes no requieren tener una elevada resistencia a la compresión. Los adobes fabricados de la manera tradicional son adecuados siempre y cuando sean de calidad aceptable, lo que significa que sean manipulables, de dimensiones uniformes, sin alabeos y estén libres de rajaduras.

Para prevenir el agrietamiento de los adobes, se requiere agregar paja al barro en fibras de 0.10 m de longitud aproximadamente, en una proporción en volumen no menor a una parte de paja por seis de suelo.

Es aconsejable “dormir” el suelo (remojarlo por dos o más días) antes de la elaboración de los adobes.

Es recomendable que los adobes se sequen a la sombra por un periodo no menor de una semana, en un área (tendal) limpia y plana, colocando arena fina entre el piso del tendal y los adobes. Para facilitar el secado de los adobes, éstos se colocarán de canto tan pronto como sea posible. El tiempo mínimo de secado será de quince días.

Si los adobes se rajan durante el proceso de secado, aun cuando estén a la sombra, será necesario aumentar la proporción de paja en la mezcla y/o añadir arena gruesa, hasta obtener adobes libres de rajaduras.

Los moldes para la fabricación de los adobes (gaveras) tendrán de preferencia fondo, ya que de esta manera se obtienen adobes más compactos y uniformes. En el fondo del molde se dejarán dos pequeñas ranuras longitudinales que permitan el escurrimiento del agua. El molde se debe sumergir en agua para evitar que el barro se pegue a las paredes cada vez que se fabrique un nuevo adobe. En el caso de utilizar moldes con fondo, se les debe rociar arena fina en el interior para evitar que el barro se pegue al fondo.

Morteros de Barro

Se debe controlar la fisuración del mortero por la contracción de secado. La paja y en menor grado la arena gruesa, son aditivos naturales eficientes para controlar la fisuración del mortero y, por consiguiente, mejorar la calidad de la mampostería.

La adición de fibras (paja) al mortero controla la fisuración, mejorando la integración y por lo tanto la resistencia de la mampostería. Sin embargo, la cantidad máxima de paja que se puede añadir aún suelo determinado, está controlada por la trabajabilidad del mortero. Si la cantidad de paja necesaria es excesiva, deberá añadirse arena gruesa a la mezcla.

Para establecer las proporciones de barro, paja y, eventualmente, arena del mortero, se recomienda realizar el ensayo de Control de Fisuración, consistente en fabricar tres o más emparedados (dos adobes unidos por mortero) usando los adobes existentes y el mortero de suelo-paja en estudio. Luego de 48 horas de secado a la sombra, los emparedados se abren cuidadosamente y se examina el estado del mortero; si este no se encuentra visiblemente fisurado, el suelo es adecuado para la construcción. En caso contrario, se podrá usar arena gruesa (de 0.5 a 5 mm aproximadamente) como aditivo para controlar la fisuración. Si no hay arena gruesa disponible, el suelo deberá descartarse.

La proporción suelo-arena o suelo paja-arena más adecuada, se determina realizando el ensayo de Control de Fisuración, fabricando tres o más

emparedados de cada una de las mezclas en estudio. El emparedado con menor contenido de arena gruesa que, al abrirse a las 48 horas ya no muestre fisuras visibles en el mortero, indicará la mezcla más adecuada para la construcción. Se recomienda que las proporciones de suelo-arena gruesa varíen entre 1:0 y 1:3 en volumen. Normalmente mezclas de arena gruesa - paja - suelo comprendidas entre 1:1:2 y 1:1:5 proporcionan resultados aceptables y pueden servir de base para seleccionar la mezcla más adecuada.

Al igual que en la fabricación de adobes, se recomienda “dormir” el suelo con el que se preparará el mortero y batirlo varias veces para lograr una mezcla uniforme.

Construcción de Muros

La construcción de los muros debe ser uniforme, procurando no levantar más de 1.5 m de altura de muro por día. Las juntas horizontales y verticales deben ser uniformes y quedar completamente llenas de mortero. Al final de la jornada, deben dejarse las juntas verticales sin mortero, listas para recibir el mortero de la siguiente jornada. Debe verificarse la verticalidad de los muros.

Los adobes al momento del asentado, deben estar libres de polvo, e inmediatamente antes de asentarse, las superficies horizontales deben humedecerse, para evitar el secado prematuro del mortero y así mejorar la adherencia.

Deben dejarse contrafuertes en la dirección que en un futuro se piense ampliar la construcción.

Los dinteles de puertas y ventanas (si los hubiera) deben anclarse no menos de 0.30 m en el muro. Los dinteles se diseñarán para soportar las cargas que actúan sobre ellos (peso y carga del muro que obran por encima del dintel) sin considerar ningún efecto de arco. (Red HABITERRA-CYTED, 1995).

Estabilización de la tierra

Estabilización por cementación: adición de sustancias capaces de solidificar los granos de arena y las partículas arcillosas para rigidizar el esqueleto interno con capacidad opuesta a la absorción de agua por la arcilla.

Algunos de ellos son: cemento portland, cal virgen o cal hidratada, mezcla de cemento y cal, o cal con cenizas.

Estabilización por armazón: adición de material para cohesión como granos o fibras, para asegurar la integración de partículas de arcilla por fricción otorgándole mayor firmeza. Disminuye los esfuerzos de tracción y reducen los de compresión. Principalmente las fibras vegetales.

Estabilización por impermeabilización: Envoltura de las últimas partículas de arcilla convirtiéndolas en impermeables, más estables y resistentes al agua y sus efectos. Ejemplos: asfalto, aceite de coco, savias de plantas oleaginosas, látex, entre otros.

Estabilización por tratamiento químico: Adición de sustancias capaces de formar compuestos estables con arcilla, de acuerdo a su composición química. La cal es agente cementante y estabilizador químico, otros ejemplos son la soda cáustica y orina de ganado. Bardou y Arzoumanian (1979)

Basado en la publicación de CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo para la sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social. (Red Habiterra del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 1995)

Anexo 3: Tablas para ensayos tierra

Tabla de serie de tamices empleados para ensayo según Norma ASTM-422.

Medida	Número de Tamiz
3" (75.0 mm)	Nº 4 (4.75 mm)
2" (50.0 mm)	Nº 10 (2.00 mm)
1 ½" (37.5 mm)	Nº 20 (0.850 mm)
1" (25.0 mm)	Nº 30 (0.600 mm)
¾" (19.0 mm)	Nº 40 (0.425 mm)
½" (12.5 mm)	Nº 60 (0.250 mm)
3/8" (9.5 mm)	Nº 100 (0.150 mm)
¼" (6.3 mm)	Nº 200 (0.075 mm)

Anexo 4: Ejemplo de planilla para registro y evaluación de los test.

Identificación de la tierra. Prueba de campo.

Nombre de la muestra

Localización

Operador

Fecha de colecta

Fecha de ejecución

Observaciones

Test	Interpretación
Táctil-Visual	Tamaño de partículas
	Color
	Brillo
	Tacto/textura
Identificación de la tierra por inspección táctil - Visual	
Caída de la bola	
Vidrio - % de arena, limo y arcilla	
Indicaciones técnicas constructivas por el test de vidrio	
Cordón	
Cinta	
Exudación	
Resistencia seca	
Identificación de la tierra y de técnicas constructivas. Según los test del cordón, de la cinta, de exudación y de la resistencia seca	
Identificación de la tierra y de técnicas constructivas. Según el cuadro de estabilizantes.	
Rollo	
Caja	
Conclusión:	

Hacer el esbozo del local del muestreo en el reverso.