



Tierra

Tierra

Hacia una arquitectura contemporánea sostenible en Costa Rica

Arq. Marlene Ilima

Tutora

Arq. Francisco Castillo

Lector

Arq. Bernadette Esquivel

Lectora

Julio Núñez

Estudiante

El presente proyecto de graduación titulado **Tierra: hacia una arquitectura contemporánea sostenible en Costa Rica**, realizado durante el 2017 al 2018, ha sido defendido el **viernes 23 de noviembre del 2018** ante el Tribunal Evaluador integrado por la M.A. Arq. Marlene Ilima Mora, el M.A. Arq. Francisco Castillo Camacho y la M.A. Arq. María Bernadette Esquivel Morales, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura del Instituto Tecnológico de Costa Rica. La orientación y supervisión del proyecto desarrollado por el estudiante **Julio César Núñez Corrales**, cédula 1 1440 089 a cargo de la profesora tutora Máster Arquitecta Marlene Ilima Mora. Este documento y su defensa ante el tribunal han sido declarados.

Público


Confidencial

Calificación

Agradecimientos

Quiero dar gracias a Dios, por dejarme crecer en una familia que me ha brindado su apoyo incondicional, y en especial en esta etapa de mi vida que concluye. A mis profesores agradecerles por ser una guía y apoyo, impulsándome a mejorar continuamente durante todo el recorrido por la escuela. A todos aquellos con los que llegué a compartir durante el proceso universitario, darles las gracias porque hicieron que por cada hora de arduo trabajo se forjaran recuerdos inolvidables.

Indice



01	Introducción [26] Materiales constructivos [28] Tierra materia prima [30] Componentes orgánicos Arcilla Limo, arena y grava Agua Características asociadas Suelos de CR [40] Ultisol Andisol Inceptisol Entisol Alfisol Conclusiones [46]	03	Introducción [80] Experimento [82] Granulometría [84] Alcance Aplicación Procedimiento Compactación [88] Alcance Aplicación Procedimiento Plasticidad [92] Alcance Aplicación Procedimiento Exigencias de diseño [96] Diseño modular Sismorresistencia Consolidación Protección Cerramiento Resutilización Estética Conclusiones [104]	05	Bibliografía [110] Anexos [96]
	02	04			
Introducción [02] Antecedentes [04] Problema [06] Justificación [08] Estado de la cuestión [10] Objetivos [12] Delimitación [13] Alcance [13] Marco teórico [14] Arquitectura ecológica Arquitectura bioclimática Arquitectura sostenible Conclusiones teóricas Metodología [22]	Introducción [50] Construcción en tierra [52] Selección de la tierra [54] Sistemas Terreos [56] Cob Adobe BTC Bahareque Sistema Tapial [62] Mezcla Aglomerante Equipo Encofrados Pisones Proceso productivo Prefabricación Conclusiones [76]	Conclusiones y recomendaciones [108]			

Introducción
Antecedentes
Problema
Justificación
Estado de la cuestión
Objetivos
Marco teórico
Metodología

Conociendo la tierra

01



Imagen 1. Phoenix Zoo, uso contemporáneo de la tierra como material. Fuente: propia.



Imagen 2. Phoenix Zoo, muro en tapial. Fuente: propia.

Introducción

El presente capítulo detalla las principales razones del por que la temática de sostenibilidad y construcción con tierra es importante de analizar y de poner en práctica, considerando su relación con el aprovechamiento de los recursos locales disponibles con la finalidad de reducir los consumos energéticos y los impactos ambientales, que tenemos como meta país. Asimismo, representa una hoja de ruta en la elaboración del proyecto final de graduación.



Imagen 3. Phoenix Zoo, edificio administrativo. Fuente: propia.

“... el empleo y uso de materiales y sustancias con criterios de sostenibilidad, [...] sin poner en riesgo su uso por generaciones futuras, representa el concepto de gestión energética óptima de los edificios de alta tecnología, mediante la captación, acumulación y distribución de energías renovables pasiva o activamente, y la integración paisajista y empleo de materiales autóctonos y sanos, de criterios ecológicos y ecoconstrucción.” (Neila, 2004)

A lo largo de la historia, la relación entre el clima y la arquitectura ha sido siempre íntima, estableciéndose una dependencia de los materiales, las técnicas, los sistemas constructivos y el diseño de los edificios.

Antes de la colonización española, las sociedades indígenas habían creado su propia arquitectura en consonancia con su hábitat y cosmovisión, utilizando materiales que su entorno le ofrecía, desarrollando técnicas alrededor de esta. Los españoles, al llegar al continente americano eran portadores de un bagaje cultural en la utilización de materiales y técnicas, como producto de su particular desarrollo histórico.

Durante los primeros años del periodo colonial, los españoles se vieron en la obligación de resolver el problema de la construcción de edificios, en miras de la protección contra las inclemencias del tiempo. Las primeras construcciones utilizaron los materiales que el medio les ofrecía en abundancia que eran el barro, paja y madera. Troyo (1998) explica cómo el uso del barro como material tenía dos orígenes diferentes, el indígena y el español. Los indígenas utilizaban el barro para rellenar los espacios que quedaban entre los troncos y cañas con que levantaban las paredes de sus viviendas, técnica conocida como bahareque. En contraposición la herencia española consistía en fabricar bloques de barro, mezclado con zacate y estiércol, técnica llamada adobe. Las edificaciones de adobe tienen la ventaja de mantener una agradable temperatura.

Existen posiciones encontradas acerca de la vulnerabilidad de este tipo de construcción a los temblores, fenómenos muy naturales en nuestro territorio. Algunos sostienen que las paredes levantadas con ese material tienen como resultado un volumen masivo, pesadas y de poca flexibilidad ante los sismos, otros argumentan que el problema no está en el material, sino en las técnicas de construcción utilizadas.

A lo largo del período colonial, los sismos causaron graves daños en los edificios de adobes (terremotos de 1841 y 1910). La experiencia obligó a prohibir el uso de ese material, Obregón (2005) explica como el 22 de octubre de 1841, el Gobierno emite la Orden IX, la cual dio normas

básicas de cómo se debía edificar, donde destaca la delimitación de los responsables de la construcción y de la altura necesaria de las viviendas para la circulación del aire, el preámbulo dice:

“En un país rodeado de volcanes, donde con frecuencia se repiten los temblores [...], es preciso poner el mayor esmero en la construcción de los edificios, para no encontrarse familias [...] sepultadas bajo sus ruinas”

Ofelia Sanou (2010) recalca que esta tipología de vivienda alcanzó incluso a desarrollarse a nivel urbano hasta el año de 1910, cuando el terremoto de Cartago terminó con el adobe como sistema de construcción y fue sustituido por la madera y lámina de metal para las paredes exteriores, esta última imitaba otros materiales, como ladrillo, piedra e incluso madera. Ese terremoto estableció un hito de cambio en el proceso constructivo del país. Se empezó a usar también el bahareque, la tela metálica y el ladrillo de barro cocido.

Tras la crisis energética a finales de los años setenta del pasado siglo se inicia el desarrollo de una conciencia tras la escasez y el agotamiento de los recursos naturales, en la que distintos agentes vinculados al sector de la construcción e investigación se propusieron rescatar materiales como el uso de la tierra.

El término arquitectura de tierra fue adoptado en 1980 tras la Conferencia Internacional sobre Construcciones con Tierra realizada en Ankara, Turquía, haciendo referencia al material natural empleado para conformar el hábitat a lo largo de la civilización de múltiples naciones y pueblos, siendo un nuevo léxico del ramo (Rodríguez, 2011).

Proyectos de cooperación en América, África y Asia, destacan la calidad arquitectónica de las construcciones en tierra, convirtiendo los equipamientos en referentes que permitan recuperar la consciencia y credibilidad de los edificios en tierra, como solución viable a nivel económico, social y ambiental. La recuperación de esta consciencia es necesaria ya que, aunque el extenso patrimonio de tierra todavía está en pie, éste tiende a desaparecer; no por falta de estabilidad, sino por el cambio de mentalidad de sus propietarios y falta de confianza en lo local. El desprecio hacia la arquitectura de tierra se debe por ser considerada símbolo de pobreza o retraso cultural.

Costa Rica tiene logros históricos y una base firme en materia de conservación ambiental. No obstante, es fácil entender que, sin capacidades para ejercer las tareas sustantivas [...] de los impactos de las actividades humanas y productivas, [...] Solo cabe esperar más deterioro si no se otorga a la sostenibilidad ambiental un lugar prioritario en la agenda del desarrollo humano.[...] Hoy en día, a nivel internacional se impulsa que los procesos de evaluación de impacto ambiental sean más amplios e integrados, incorporando elementos como la afectación del paisaje, la sostenibilidad de los proyectos y su relación con otras actividades que se desarrollan en el mismo entorno y área de influencia (Programa Estado de la Nación, 2016).

La arquitectura y construcción con tierra se trabaja bajo una nueva óptica, gracias a la adecuación de las necesidades de la sociedad para confrontar el desgaste del ambiente construido que las tecnologías tradicionales han provocado al ambiente natural (Neves, y otros, 2011).

Uno de los caminos que puede permitir revalorar la arquitectura de tierra es generar edificios contemporáneos ecológicos, entendiendo que esta forma parte de un sistema complejo. Por consiguiente, se debe dar respuesta a necesidades reales y desarrollar una notable capacidad creativa desde el punto de vista constructivo, basado en la tecnología disponible y en su capacidad de adaptación, buscando soluciones técnicamente viables a la recuperación de las técnicas y procedimientos tradicionales de construcción con tierra (Maldonado & Vela-Cossío, 2011).

Existe el desafío de legislar para poder contar con una normalización de fácil acceso, reconocida, adecuada y suficiente para asegurar la confianza de la tierra como material. Si bien hay avances importantes en varios países y diferentes contextos, las normas establecidas no son suficientes para el sector gubernamental y tampoco como instrumentos de confiabilidad para la sociedad y organizaciones. El debate forma parte de la agenda de muchos países en cuanto a normativas específicas para construir con tierra en zonas sísmicas, donde la poca credibilidad en cuanto a su resistencia y durabilidad se refleja en los códigos y normas (Rotadero, 2007). Esto queda claro en nuestro Código Sísmico 2010, el cual prohíbe su uso estructural, sin embargo, no niega su uso para otras funciones, como las que aquí se desea:

... se prohíbe el uso estructural de materiales y sistemas constructivos como el adobe, el tapial, el bahareque relleno y la mampostería sin refuerzo en los sistemas sismorresistentes de todas las edificaciones y obras afines a ser construidas en el territorio de la República de Costa Rica (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2013).

La tierra es un material que nuevamente empieza a formar parte de la vida, pero que en muchas ocasiones sucumbe ante las exigencias legales a pesar de las bondades que el material ofrece (Font & Hidalgo, 2011). Desde el punto de vista normativo la falta de reglamento técnico es sin duda una gran desventaja para las oficinas de diseño. Es necesario ofrecer una caracterización del material precisa en la que se trasladen sus virtudes a parámetros medibles donde se pueda contrastar sus cualidades con las de otros materiales tecnológicamente más avanzados.



Imagen 4. Ruinas de Ujarras. Fuente: Guía de arquitectura y paisaje de Costa Rica.

¿Que modificaciones se debe realizar al **material tierra** para que cumpla con la **normativa vigente** y se aprovechen sus **propiedades ambientales**?

La búsqueda de nuevos materiales de construcción que aporten nuevas soluciones, sumado a la voluntad de hacer una arquitectura cada día más sostenible, ha hecho emerger el uso de la tierra que fue abandonada a lo largo del tiempo. En las últimas décadas, los conocimientos han ido avanzando de manera significativa, lo que ayuda a evaluar y comparar resultados, con una necesaria y conveniente actitud crítica de curiosidad científica que avanza de manera progresiva y favorece la discusión de métodos e instrumentos (Maldonado & Vela-Cossío, 2011).

En la práctica los países desarrollados han asumido un gran desarrollo tecnológico con rigor científico-técnico, sin embargo, en los países en vías de desarrollo, las soluciones de construcción con tierra tienen una fundamentación cultural y social, lo que desfavorece un desarrollo científico en cuanto a nuevas búsquedas y desempeños de este material (Rodríguez, Monteagudo, Saroza, Nolasco, & Castro, 2011). Ante esta situación, el manejo global del tema demanda considerar las potencialidades tecnológicas que ofrece la tierra como material de construcción.

Desde un punto de vista tecnológico y teniendo en cuenta la relación indispensable entre arquitectura y tecnología, en la arquitectura de tierra se presenta una situación de intercambios y de condicionamientos muy particulares, en los cuales, el desarrollo tecnológico ha jugado un rol determinante en muchos aspectos. Mediante la estabilización con productos naturales o industriales se mejoran aspectos como la durabilidad, la resistencia, los acabados y los modos productivos, donde la mejora de las características naturales garantiza calidades óptimas para su empleo (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011). Para el empleo a escala masiva del material plantea innovaciones que incluyen cambios en la preparación del material, el diseño de equipos y en la organización de la obra (Rotandero, 2007).

El sistema tapial "... ha sido de las técnicas de puesta en obra de la tierra cruda, la que ha atraído la mayor atención por parte de arquitectos y constructores y también, la que ha experimentado mayores innovaciones técnicas con la introducción de los encofrados industriales y el apisonado mecánico" (Font & Hidalgo, 2011), por tanto, es necesario profundizar este modo de construir y en su evolución para adaptarlo a los actuales criterios de producción y a las exigencias futuras. Se han construido proyectos que logran modernizar de manera exitosa las técnicas tradicionales de construcción con tierra, adaptándolas a las necesidades de diseño y técnica constructiva, los arquitectos Rei-

terman y Sassenroth en el año 2000, desarrollan la Capilla de la Reconciliación en Alemania (ver imagen 5), Bestraten, Hormías, y Altemir (2011) y explican:

... se trata del primer edificio público con estructura portante de tierra construido en los últimos 150 años en Alemania. A su vez es uno de los reclamos turísticos más visitados de la capital alemana. Debido al hecho de que la técnica de construcción no estaba autorizada, el Departamento de Estructuras Portantes y Construcción de la Technical University de Berlín se encargó del proyecto como un "caso singular de autorización". [...] Cabe destacar que hacía muchos años que no se construía un edificio público con estructura de tierra, a pesar de una larga tradición del material también en estas latitudes.

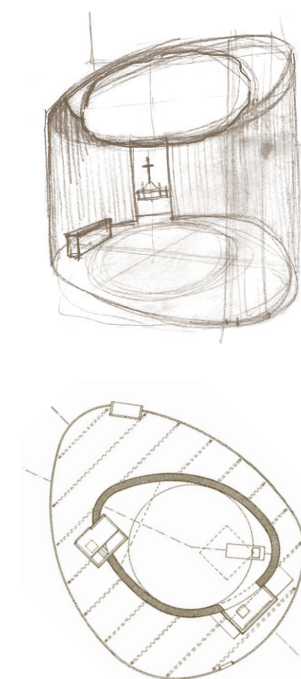


Imagen 5. Capilla de la Reconciliación en Berlín. Fuente: Plataforma arquitectura.

Se debe reconocer la arquitectura y construcción con tierra, como una de las tecnologías más coherentes del momento, en respuesta a la sustentabilidad del ambiente construido y a los anhelos de la sociedad en adoptar tecnologías de bajo impacto ambiental (Neves, y otros, 2011).

Desde la perspectiva de la arquitectura, el diseño y la construcción, esta investigación abre una nueva solución en materiales constructivos para los profesionales de esta rama, por lo que se limitará para sus usos complementarios junto a otros sistemas constructivos normados en Costa Rica. Además, genera beneficios para el desarrollo de tesis futuras que planteen la posibilidad y viabilidad en la aplicación en proyectos concretos.

El uso de la tierra como materia prima de construcción, se ha centrado en estudios para la conservación y restauración del patrimonio, dejando de lado el potencial que tiene. Hoy en día el desarrollo tecnológico permite evolucionar las técnicas en las que se han empleado históricamente posibilitando la creación de nuevas técnicas. Neves y otros (2011) detectan la diferencia que existe acerca de los sistemas térreos, ya que las investigaciones que se encuentran en su mayoría solo hacen referencia a la restauración:

... se verifica hoy en Iberoamérica un número significativo de profesionales capacitados en la restauración de edificaciones y conservación de monumentos y pocos profesionales capacitados en el uso de tierra como material de construcción para la producción de edificaciones [...] Este hecho repercute de forma negativa en el tema, ya que son pocos los profesionales capacitados actuando en las definiciones de políticas públicas.



Imagen 6. La Casona de Santa Rosa, Guanacaste, técnica constructiva de bahareque. Fuente: Guía de arquitectura y paisaje de Costa Rica.

Experimentos realizados sobre el material, han logrado modernizar las técnicas tradicionales, sin embargo, el problema que presenta es la difusión de estos estudios, que en su mayoría no son publicados. En nuestro país, existen ideas preconcebidas en cuanto la tierra como materia prima, por lo que hay que ofrecer una visión actual sobre la construcción con tierra, aportando datos técnicos de su utilización en proyectos contemporáneos.

El concepto de sustentabilidad y las posibilidades de construcciones menos impactantes han cambiado los paradigmas del proceso constructivo. Los principios de un buen diseño pasivo, tales como proporcionar inercia térmica y grandes áreas acristaladas para el comportamiento en invierno, es

válido para países fuera de la zona tropical, dejando la duda de cómo estos sistemas podrían funcionar en climas tropicales. La base teórica del comportamiento térmico de los muros de tierra realizados sobre edificaciones construidas en regiones que presentan cuatro estaciones del año muestra que:

...la resistencia térmica constante es baja para todas las paredes de tierra, se traduce en temperaturas más altas que la media en verano y más bajas que la media en invierno, la capacidad de las paredes gruesas de tierra para amortiguar las variaciones de temperatura es la responsable de la reputación de los materiales... (Heathcote, 2011).

El “Plan de Construcción y Hábitat” desarrollado después de la crisis energética de los setenta, es de suma importancia para el resultado de una operación de construcción con tierra que aún conserva un carácter ejemplar para encontrar soluciones alternativas en el consumo energético, en la que se promovieron investigaciones y experimentos a gran escala (Guillaud, 2011). Para esta época el reto fue considerable porque no había empresas con el conocimiento suficiente, por lo que fue necesario capacitar a los involucrados del sector construcción. En condiciones de ausencia de normas, crear las condiciones para una experimentación piloto constituyó una demostración tanto técnica como constructiva, arquitectónica y económica.

La normativa existente a nivel internacional está dispersa, y en la mayoría de los países desarrollados surgen numerosos problemas técnicos y legales para llevar a cabo una construcción. Mag y Rauch (2011) estudian el panorama normativo para las construcciones con tierra, analizando cincuenta y cinco normas y reglamentos de países repartidos por los cinco continentes, un estudio referenciado sobre las normas y reglamentos vigentes desarrollados por los organismos nacionales de normalización o autoridades correspondientes, logran mostrar en términos generales la incipiente regulación para cualquier uso de este material para el alcance de la sostenibilidad.

Por tanto, es necesario investigaciones que constituyan una guía que procure contribuir al conocimiento, aportando información que permita a los diferentes profesionales que deseen trabajar en este ámbito. Es necesario desarrollar un programa de pruebas para investigar el aspecto del tiempo de secado con respecto al cambio en la resistencia del material, así como para establecer los aspectos generales de los procedimientos de ensayo aplicables a la zona tropical. Esta investigación se encuentra dentro del área de nuevo conocimiento en el campo de la sostenibilidad ambiental.

Objetivos

Explorar la viabilidad del uso y la sostenibilidad ambiental de la tierra como material en la arquitectura costarricense.

General

Específicos



1

Conocer la base teórica de la composición de la tierra y su distribución en el suelo costarricense.



2

Identificar las características de las construcciones en tierra para la composición de esta junto a otros materiales y la exploración de sus cualidades de sostenibilidad ambiental.



3

Ejecutar muestras experimentales evaluando el rendimiento de las mezclas entre materiales.



4

Conclusiones y recomendaciones de la viabilidad del uso y la sostenibilidad ambiental de la tierra como material en la arquitectura costarricense.

Alcance

Esta investigación se limita a la comprensión de la tierra como material, técnicas constructivas y a la creación de muestras de laboratorio para comprobar su uso en aplicaciones constructivas sostenibles.

Delimitación

El Tecnológico de Costa Rica (TEC) como ente estatal, es responsable de producir información técnica e investigativa que colabore con el desarrollo del país, impulsando alternativas de sostenibilidad. El siguiente trabajo se enmarca en la disciplina de la arquitectura para el diseño y la construcción de espacios con materiales alternativos, en pro de la calidad ambiental, haciendo uso de recursos que posee nuestro país donde la tierra independientemente de la zona pueda aprovechar sus cualidades, aunque estas no sean estructurales. Por tanto, se pretende analizar sus capacidades en lo que la tecnología presente permita para su aplicación.

La tierra como material constructivo es valorada cada vez más por sus características saludables en comparación con materiales industriales como el concreto, el ladrillo o el acero, pues requieren de mucha energía durante en el proceso productivo y transporte, la cual no sólo es no renovable, sino que contamina. En la construcción con tierra prácticamente no se genera contaminación, el material no contiene sustancias necesita poca energía, demanda bajos costos y puede ser reciclada (Rotandero, 2007).

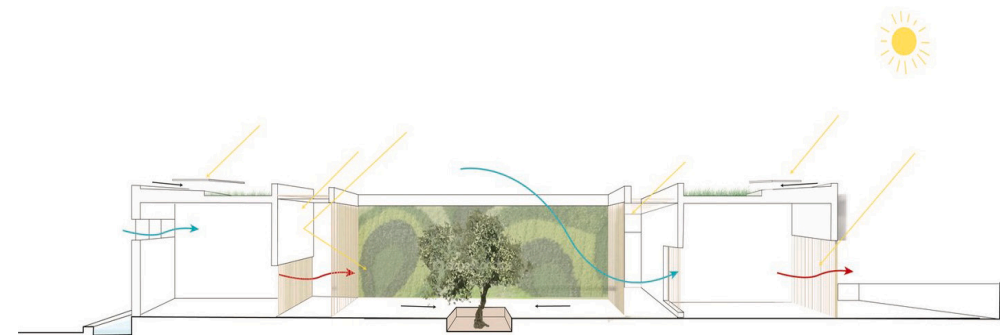


Imagen 7. Ejemplo de estrategias bioclimáticas. Fuente: Plataforma arquitectura.

Arquitectura ecológica

Este tipo de arquitectura aspira por la cuidadosa inserción de las construcciones en el entorno natural, buscando que su emplazamiento genere el menor impacto nocivo y permitiendo la coexistencia armónica entre el lugar, el edificio y el ser humano que lo habita.

Las primeras propuestas alternativas fueron planteadas tras la primera crisis petrolera en los años sesenta del pasado siglo y estas fueron aplicadas principalmente en programas residenciales y pequeños equipamientos educativos y culturales. Esta visión construye edificios sostenibles tanto para el ser humano como el medio ambiente buscando la optimización en el uso de materiales y energía, representando ventajas ambientales y económicas.

Se trabaja bajo principios básicos como valorar el sitio y las necesidades constructivas, proyectar la obra de acuerdo con el clima local, ahorrar energía, pensar en fuentes de energía renovables, ahorrar agua, construir edificios de mayor calidad, evitar riesgos para la salud, utilizar materiales obtenidos de materias primas generadas localmente, utilizar materiales reciclables y gestionar los desechos.

Arquitectura bioclimática

En esencia plantea generar espacios con óptimas condiciones de confort y bienestar, incorporando determinantes de diseño que permitan la interrelación de variables climáticas. Por tanto, se diseña para aprovechar el clima y las condiciones del entorno procurando conseguir un ambiente interno confortable mediante el diseño, tratando de prescindir de sistemas mecánicos activos, aunque esto no implica que no se pueda compatibilizar.

Los sistemas de aprovechamiento de las energías renovables en la arquitectura bioclimática se basan en tres principios: la captación de la energía (calor o frío), su acumulación y su correcto aprovechamiento gracias a una adecuada distribución. Por consiguiente, sugiere técnicas para ganar calor o evitar su pérdida mediante el control del viento, concepción térmica de la envolvente, utilización de ventanas y muros que se carguen térmicamente, utilización de los espacios interiores y exteriores y utilización del suelo para aislamiento. En las imágenes 7 y 8 se observan diagramas bioclimáticos.

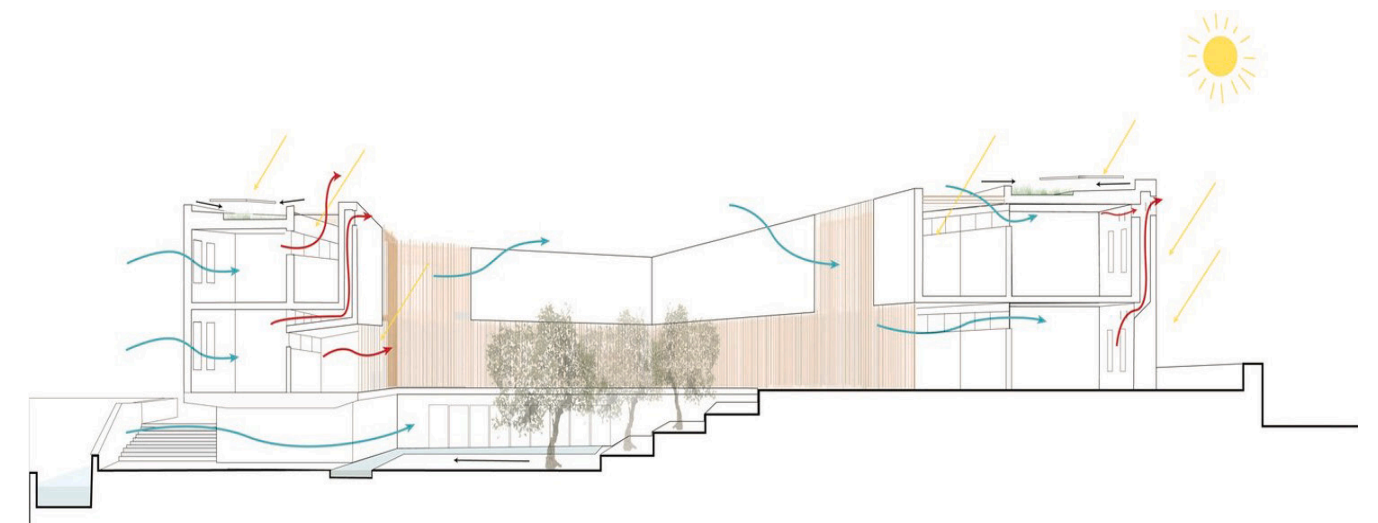


Imagen 8. Ejemplo de estrategias bioclimáticas. Fuente: Plataforma arquitectura

Arquitectura sostenible

La arquitectura sostenible introduce una nueva variable en su alcance, la cual está en función al tiempo de vida de la construcción tomando en cuenta el impacto que va a tener el edificio durante su ciclo de vida, desde su construcción, pasando por su uso y su demolición. Esto implica considerar el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una construcción, desde la extracción de materiales, fabricación de elementos, técnicas de construcción que supongan un mínimo deterioro ambiental, la ubicación y su impacto con el entorno, el consumo de energía en el funcionamiento y su impacto, llegando inclusive al reciclado de los materiales cuando la edificación ha cumplido su función.

Los principios en los cuales se actúa para adaptar el diseño a las características geomorfológicas logrando un equilibrio entre áreas construidas y libres, el Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible (2012) de Colombia establece los siguientes criterios:



Ubicación adecuada considerando aspectos como la estabilidad del terreno, topografía y existencia de infraestructura de redes de servicios.



Integración con el entorno próximo tomando en cuenta componentes como el agua, tierra, flora, fauna, paisaje y aspectos socioculturales.



Aplicación de variables bioclimáticas que aproveche el recorrido del sol, el viento, la latitud, la pluviosidad, la humedad y la temperatura.



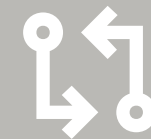
Uso de materiales constructivos que involucren aspectos de disponibilidad local, estética y accesibilidad.



Utilización de materiales y tecnologías que tengan la menor cantidad de CO₂ en el ciclo de vida considerando las diferentes etapas.



Implementación de sistemas energéticos alternativos que disminuyan costos económicos y que eviten la generación de impactos negativos al ecosistema.



Implantar circuitos cerrados de aguas y residuos para generar la menor cantidad de emisiones al entorno.



Fomentar los procesos de reciclaje y la reutilización de residuos de la construcción.



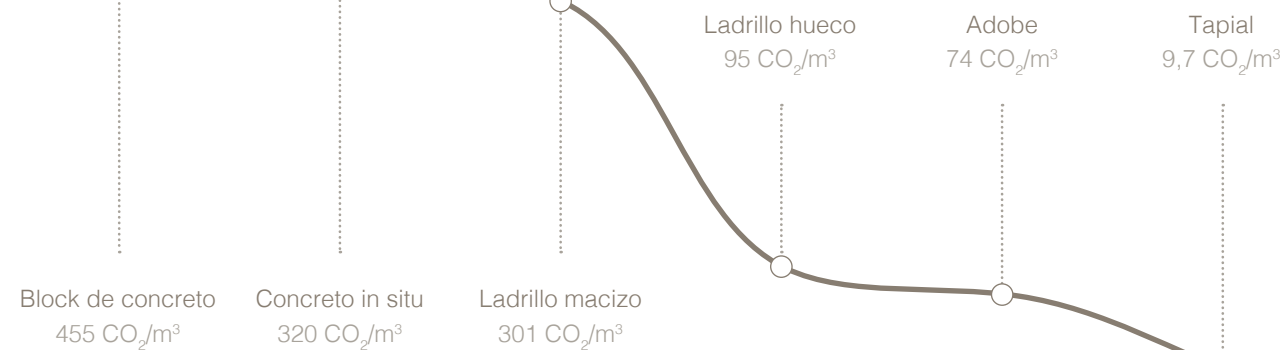
Optar por proveedores que tengan certificaciones ambientales en sus materiales.



Evitar en todos los procesos constructivos la generación masiva de residuos, sean estos sólidos, líquidos o gaseosos; con la obligación añadida de gestionar adecuadamente los residuos generados

Para facilitar la aplicación de intervenciones concretas el conjunto de criterios se agrupa en tres objetivos básicos que son “la integración en el medio natural, rural y urbano; ahorro de recursos energéticos, recursos naturales renovables y materiales; y la calidad de vida en términos de salud, bienestar social y confort” (Colombia, Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible, 2012). Esta visión ambientalista aplicada a la arquitectura y otras disciplinas afines, trasciende en los procesos de construcción e incluso a la gestión y formulación de políticas por parte de promotores de proyectos.

En este marco, las políticas mundiales de sostenibilidad de las edificaciones han adelantado estándares de construcción y sistemas de clasificación y certificación de edificios sostenibles que evalúan los diferentes factores relacionados con la calidad ambiental y emiten certificaciones de diferentes categorías, de acuerdo con la calificación obtenida. Estos sistemas de certificación internacionales han sido la base para el desarrollo de procesos similares en otros países que se encuentran en vía de consolidar un sistema de evaluación y certificación de construcción sostenible de acuerdo con los factores más incidentes de la región, en nuestro país contamos con la Norma RESET (Requisitos para edificaciones sostenibles en el trópico) creada por el Instituto de Arquitectura Tropical y donada al Colegio de Arquitectos de Costa Rica y a INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica) establecida como norma nacional INTE 06-12-01:2014, con el objetivo de ampliar los requisitos de sostenibilidad a una amplia gama de edificaciones, la cual prioriza la capacidad del diseño y el potencial de sostenibilidad que tiene la arquitectura.



Sostenibilidad de la tierra

En los procesos de producción sostenible, el ejercicio arquitectónico debe fundamentarse en normativas y técnicas que aporten soluciones que respondan a las necesidades humanas dentro de parámetros claros de manejo ambiental, confort y salubridad.

Es necesario nuevas maneras de abordar la arquitectura que se orienten a intervenciones menos impactantes con el medio ambiente y los recursos naturales, mitigando los efectos negativos propios del proceso y aprovechando las oportunidades de manejo en las diferentes etapas del ciclo de producción.

En este sentido, la construcción ofrece posibilidades de manejo ambiental y de desarrollo de propuestas de uso eficiente de los recursos naturales renovables, que contribuyen de manera concreta. La tierra como material ofrece la oportunidad de reducir el impacto ambiental, por tanto, Bestraten, Hormías y Altemir (2011) enumeraran sus cualidades para potenciar su valor:



La fuente de abastecimiento del material es ilimitada, en la que el lugar de extracción puede ser el mismo emplazamiento de la obra favoreciendo la reducción de residuos de la obra y gastos de transporte de material.



Los procesos de producción son sencillos con bajo consumo de agua sin necesidad de cocciones que generan combustiones con un alto consumo energético. La tierra no produce emisiones tóxicas.



La demolición de elementos se puede realizar con medios mecánicos, sin precisar de energía excesiva. No necesita ningún tratamiento para ser devuelto al medio ambiente sin causar contaminación alguna.

Una de las variables de sostenibilidad de los materiales de construcción son las emisiones de CO₂. En algunas cifras asociadas a la construcción con concreto y de construcción con tierra, se muestra cómo la tierra emite una cantidad muy reducida de CO₂ en comparación con los materiales convencionales, de 10 a 455 CO₂/m³ respectivamente (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011).

Gráfico 1. Emisiones de carbono por materiales. Fuente: Construcción con tierra en el siglo XXI, 2011.

Conclusiones teórica

La tierra como material de construcción bajo la perspectiva teórica de la arquitectura ecológica logra generar un menor impacto nocivo entre la edificación y sitio, al tener un proceso de fabricación con cantidades bajas de energía y agua, en la que la extracción de la materia prima se puede extraer del mismo sitio de construcción eliminando costos asociados al transporte de materiales de construcción, asimismo, logra una integración paisajística que pocos materiales pueden satisfacer.

Los muros fabricados en tierra mejoran las condiciones de confort de los espacios internos, una de las mejores estrategias bioclimáticas que aporta este tipo de sistemas, es la gran inercia térmica de este que logra almacenar calor durante el día y expulsarlo durante la noche, realizando una analogía es como contar con sistema de aire acondicionado dentro de los muros que funcionan pasivamente.

Las técnicas terreas son por si mismas sosteniblemente compatibles pues estas son capaces de poder cumplir con un ciclo de vida completo que muchos materiales del sector constructivo no logran alcanzar, pues estos solo ocupan agua para poder reutilizar el material o volver al terreno mediante procesos de demolición.

En conclusion en estos tres conceptos teóricos la construcción en tierra es capaz de satisfacer una o varias estrategias en el planteamiento de cada una.



Imagen 9. Integración paisajística del proyecto Ban Dusen Botanical Garden en Canada. Fuente: Rammed Earth Works

Metodología

Esta es una investigación explicativa con enfoque cualitativo, cuantitativo y fenomenológico, pues se genera un diagnóstico a partir de la observación y exposición de los fenómenos presentes en la tierra como materia.

Se genera conocimientos a fin de comprender sus fortalezas y debilidades, para luego ser utilizados. Desde la perspectiva cualitativa, se muestran y describen comportamientos que se presentan, asimismo, se pretende cuantificar los datos para demostrar la necesidad del uso de aditivos. Por su naturaleza exploratoria se tiene el énfasis fenomenológico. Al ser una investigación mixta la metodología incluye es una fase bibliográfica y otra de laboratorio.

Para empezar, se realizará un análisis teórico para definir las cualidades y comportamientos de la tierra, después se confeccionarán muestras para estudiar la mezcla de la tierra con otros materiales mediante ensayos técnicos para conocer el comportamiento del material. Los ensayos son tanto destructivos como no destructivos, buscando mediante la creación de matriz de relaciones en la estadística matemática.

En referencia a los niveles de resistencia característica de la tierra, las fuentes son variables y no se tiene un conocimiento riguroso de los métodos de ensayo, motivo por el cual es necesario establecer un protocolo de ensayos que ofrezca garantías del mismo modo que se efectúa con otros materiales.



Imagen 10. Muro interno de tapial. Fuente: Rammed Earth Works.

	Objetivo	Actividad	Instrumento	
	1	Estudio de las propiedades y cualidades de la tierra.	Revisión bibliográfica Visitas técnicas.	→ Propiedades de la tierra como material
	2	Estudio de las construcciones en tierra	Revisión bibliográfica Estudio de campo	→ Parámetros aplicables a la mezcla de la tierra
	3	Ensayos técnicos en aplicaciones constructivas.	Pruebas técnicas	→ Cualidades que se le puede dar a la tierra
	4	Análisis de la viabilidad y sostenibilidad ambiental de la tierra	Investigador	→ Conclusiones y recomendaciones para el uso de la tierra

Introducción
Materiales constructivos
Tierra materia prima
Suelos de CR
Conclusiones

Tierra materia prima

02



Imagen 11. Tierra tamizada.
Fuente: propia.



Imagen 12. Vertido de tierra
encontrado. Fuente: propia.

Introducción



Imagen 13. Extracción de la
tierra. Fuente: propia.

La sociedad se ha sensibilizado por los problemas medioambientales, descubriendo las virtudes del material tierra, valorando su comportamiento bioclimático, sus cualidades plásticas y su contemporaneidad. Además, la búsqueda de nuevos materiales de construcción va aportando nuevas soluciones, que sumado a la voluntad de hacer una arquitectura cada día mas sostenible ha hecho emerger un material que se fue abandonando.

La extracción y procesamiento de materias primas para la producción de los materiales y elementos de construcción, genera alto deterioro de los ecosistemas y de la biodiversidad en las zonas de explotación, generalmente con dinámicas de deforestación, erosión y contaminación del suelo, agua y aire. Otros procesos como la producción del cemento y acero implican un alto consumo energético, generalmente de combustibles fósiles no renovables con un fuerte impacto ambiental.

El sector constructivo es responsable de casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero, sumados los aportes en emisiones de las industrias de cemento y maderera. De esta forma, en sus procesos consumen el 30% de la demanda energética del total del sector industrial (Colombia, Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible, 2012).

La producción de cemento representa el sector que a nivel mundial genera mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, dado el alto consumo energético requerido por unidad de producción. El consumo de energía en la industria del cemento representa casi el 2% del consumo de la energía global primaria y aproximadamente el 5% de la energía consumida por la industria global. La industria del cemento genera, a nivel mundial, 5% del CO₂ global, uno de los principales gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático (Colombia, Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible, 2012).

La producción de acero es responsable aproximadamente del 5%, del total de emisiones de gases de efecto invernadero (Colombia, Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible, 2012). La excavación de minas, la remoción de minerales y el procesamiento de metales puede causar graves daños al ambiente y en casos extremos hasta destruir ecosistemas. Así, los impactos ambientales, en muchos casos son irreversibles o muy críticos. Asimismo, el material subterráneo excavado puede ge-

nerar volúmenes de residuos hasta ocho veces superiores al original.

La producción de la madera genera grandes impactos en la cobertura mundial de bosques, la tasa actual de deforestación a nivel mundial sobrepasa los catorce millones de hectáreas por año (Colombia, Ministerio de Desarrollo y Ambiente Sostenible, 2012), la mayor parte de las pérdidas ocurren en la zona tropical. La explotación de la madera se encuentra estrechamente ligada, en primera instancia a la deforestación y sus consecuencias colaterales de erosión, desertificación y pérdida de biodiversidad; y en segunda instancia a la reforestación con árboles de crecimiento rápido y ciclo corto que pueden agotar los nutrientes del suelo y reducir la fertilidad del sitio y modificar el suelo.

La industria de mampostería a nivel mundial ha aumentado su producción desde 1990. Esta industria produce impactos ambientales por la explotación de arcillas, el uso intensificado de energía, la emisión de humo, partículas y gases y la disposición de residuos, que contaminan el suelo y el agua. Sin embargo, este material presenta ventajas constructivas como la producción masiva, bajo costo, uso de mano de obra no calificada, masa térmica y resistencia estructural, que permiten su protagonismo en la construcción de baja altura. La mampostería combinada con elementos estructurales en concreto permite el desarrollo en altura.

En relación con la explotación de los materiales pétreos como la piedra, gravilla y arena a nivel mundial no se cuenta con indicadores o estadísticas precisas. Esta actividad depende de la presencia de yacimientos geológicos de cada país y la viabilidad económica, determinada por diversos factores, entre los que se encuentran el tipo de mineral y su riqueza, la profundidad del yacimiento y el proceso técnico que haya que aplicar para la extracción.

Tierra materia prima

La tierra es producto de la erosión de las rocas en la corteza terrestre. La erosión ocurre fundamentalmente a través de la pulverización de las rocas provocada por movimientos del agua y el viento, por la expansión y la contracción térmica de las rocas o por la expansión del agua congelada en las grietas de las rocas. Adicionalmente los ácidos orgánicos existentes en las plantas por reacciones químicas producidas por el agua y el oxígeno provocan también la erosión de las rocas. La composición y variedad de las propiedades de la tierra dependen del lugar donde se encuentra.

La tierra es una mezcla de arcilla, limo, arena, aire y agua, que algunas veces contiene agregados mayores como grava y piedras. La clasificación granulométrica de la tierra, que es más aceptada a escala internacional, parte de los siguientes criterios. Se denomina grava a las partículas con un tamaño superior a los 2,00 mm, la arena está en un rango de entre 0.06 mm y 2 mm, el limo va de 0.002 mm a 0.06 mm y las arcillas son partículas menores a 0.002 mm (Guerrero F., 2010). Aunque cada componente juega un papel importante dentro del conjunto del suelo y éste va a variar en función de su utilización, el rol que desempeña la arcilla es clave por tratarse del material aglomerante, mientras que la grava, la arena y el limo dan estructura. La arcilla actúa como aglomerante para pegar las partículas mayores en la tierra como lo hace el cemento con el concreto. Limo, arena y otros agregados constituyen rellenos en la tierra. Dependiendo de cuál de estos tres componentes sea el predominante podemos hablar de un suelo arcilloso, limoso o arenoso.

Es necesario partir del hecho de que, debido a la historia geológica del planeta, no todas las capas que conforman la corteza terrestre tienen las mismas posibilidades de ser utilizadas como materia prima, en el gráfico 2 se muestra la estratificación de los suelos. El estrato más profundo que se encuentra en contacto con la roca madre presenta el inconveniente de ser prácticamente inerte, por lo que carece de la cualidad de adherencia. La capa intermedia, que normalmente se encuentra entre los 0,50 y los 2,00 m de profundidad, posee una variedad granulométrica que permite mantener estables los suelos al modificar sus condiciones de humedad. Finalmente, la capa más externa del terreno y que es conocida como suelo orgánico, ya que en él se entremezcla todo tipo de restos de origen animal y vegetal cuyo comportamiento resulta difícil de predecir.

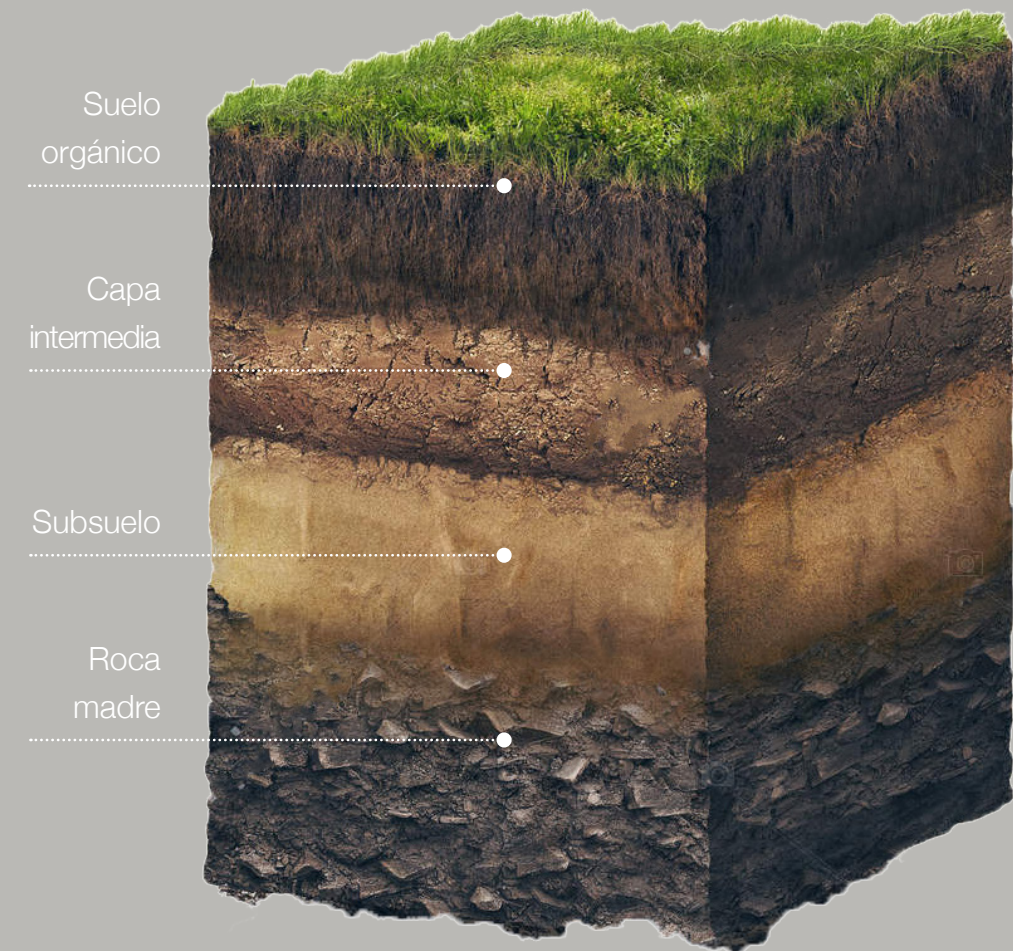


Gráfico 2. Estratificación de suelos. Fuente: Manual de construcción con tierra, 2006.

Componentes orgánicos

Un suelo extraído de una profundidad menor a 40 cm contiene por lo general materia orgánica y humus, producto de la descomposición de plantas, el mismo está constituido fundamentalmente por partículas coloidales y es ácido ($\text{pH} < 6$).

La tierra como material de construcción debería estar libre de materia orgánica y humus, ya que esta se descompone y genera vacíos por lo que su composición es débil, pero, por otra parte, es frecuente el caso de que el material vegetal o animal esté vivo y se active con los cambios de temperatura y humedad. “Desde un punto de vista ecológico, esta capa externa del suelo constituye un valioso recurso del planeta que debería destinarse a la producción de alimentos y a la preservación de especies vegetales y animales” (Guerrero L., 2007).

La tierra que se utiliza para la construcción suele ser fértil como resultado de la cantidad de nutrientes que conserva, por lo que sirve como campo de cultivo de hongos, líquenes, algas, gramíneas o hasta vegetación mayor, si no se tiene el debido cuidado. El suelo natural es acondicionado mediante procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol.

Imagen 14. Diferentes tipos de partículas de la tierra.
Fuente: propia.

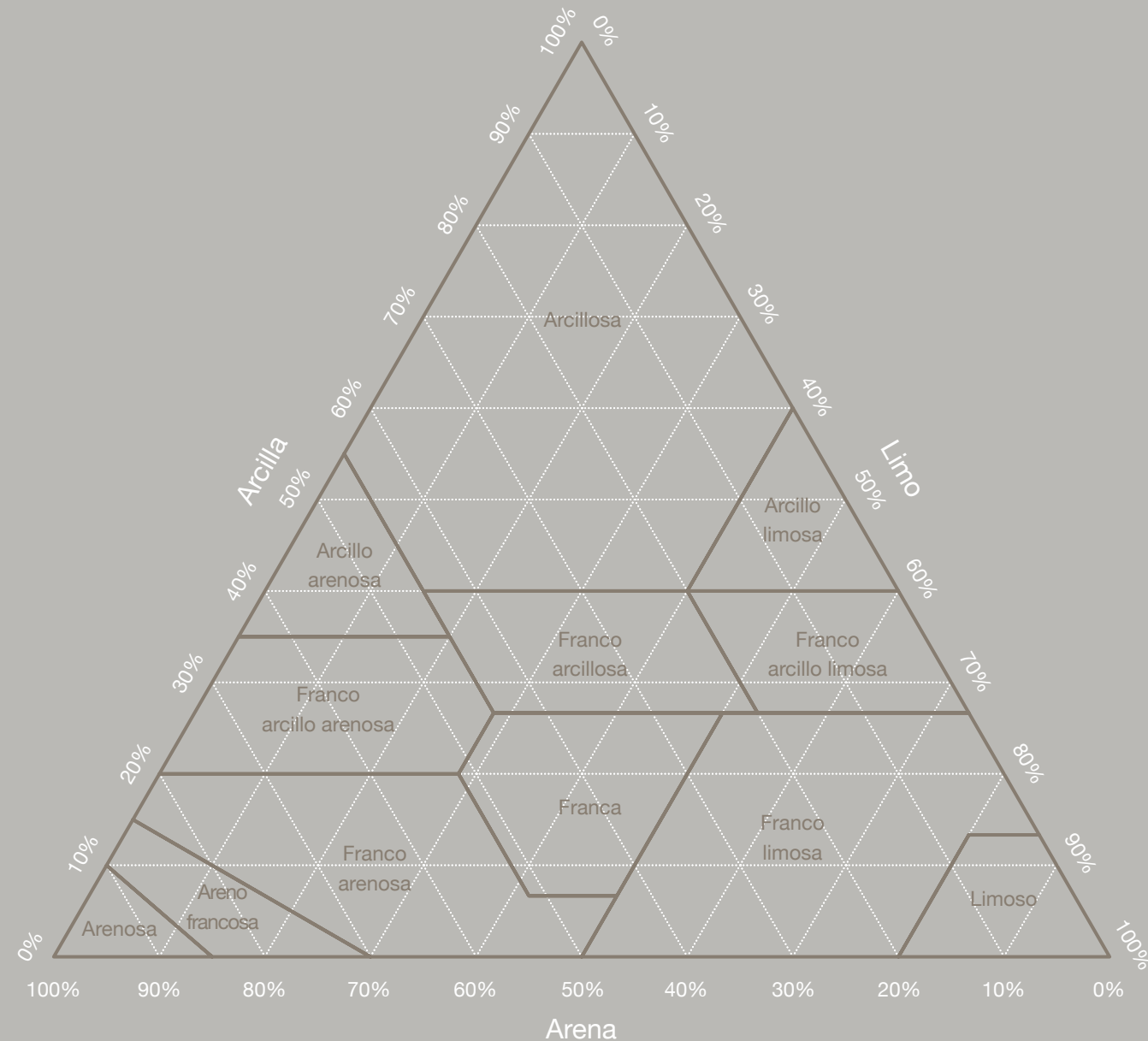


Gráfico 3. Texturas de los suelos. Fuente: Manual de construcción con tierra, 2006.

Arcilla

La singularidad de la arcilla radica en el hecho de estar formada por sílicoaluminatos hidratados que provienen de la desintegración geológica de rocas. Está constituida por cristales que, debido a su forma plana y lisa, presentan la cualidad de desplazarse fácilmente entre el resto de las partículas y establecer relaciones electrostáticas que las ligan en conjunto, este desplazamiento depende de su contacto con el agua y, a nivel macroscópico se evidencia en la transformación del suelo en un material plástico, coloidal o hasta líquido, que recupera su estado sólido original al secar (Guerrero F., 2010).

La arcilla es producto de la erosión del feldespato y otros minerales. El feldespato contiene óxido de aluminio, un segundo óxido metálico y bióxido de silicio. Los minerales arcillosos se encuentran también mezclados con otros componentes químicos, particularmente con óxido de hierro hidratado y otros componentes de hierro dándole a la arcilla un color característico amarillo o rojo. El manganeso da un color marrón, la cal y el magnesio blanco mientras que las sustancias orgánicas dan un color marrón oscuro o negro. Los minerales arcillosos tienen usualmente una estructura laminar hexagonal y cristalina. Estas láminas están constituidas por diferentes capas que usualmente se forman alrededor de un núcleo de silicio o aluminio. Las capas de óxido de silicio tienen la carga negativa más fuerte lo que conlleva a una alta cohesividad interlaminar. La mayoría de los minerales de arcilla tienen átomos de carga positiva intercambiables. La capacidad aglutinante y la resistencia a la compresión de la tierra dependen del tipo y cantidad de átomos de carga positiva (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

Pero no todas las arcillas tienen comportamientos similares pues, en función de la dimensión de la separación de sus cristales y de la serie de elementos químicos que las conforman, cambia su grado de actividad. Esto hace posible clasificar los tipos de arcillas a partir de rangos que van desde las que tienen un comportamiento muy inestable, con lo que su adherencia y mutabilidad de volumen al hidratarse puede ser muy fuerte, hasta el límite opuesto, formado por aquellas que resultan

casi inertes y, por lo tanto, mucho más estables en contacto con el agua. Dentro del primer grupo se encuentran las arcillas conocidas como expansivas que tienen la particularidad de permitir la entrada de mucha agua entre las láminas de su estructura, con lo que manifiestan potentes procesos de hinchamiento que suelen tener efectos desfavorables.

Las propiedades de los suelos están en función de la presencia de tales tipos de arcillas, pero, sobre todo, de las proporciones relativas de sus componentes. Si la tierra es arenosa, a pesar de poseer gran estabilidad ante los cambios de humedad o temperatura, la falta de actividad de la arcilla la hará frágil y será presa fácil de la erosión. En cambio, una tierra arcillosa tiene una alta cohesión, pero cuando se presentan fenómenos de humidificación y secado continuos, sufre cambios volumétricos capaces de generar agrietamientos. (Guerrero F., 2010)

La mayoría de las pruebas granulométricas cuando se intentan utilizar como guía de trabajo presentan inconvenientes, ya que poseen rangos de aplicación específicos, por lo que puede ser contraproducente tratar de utilizarlos de manera generalizada. Se recomiendan proporciones ideales de arcilla para su utilización, sin embargo, y a pesar de la semejanza de los rangos planteados, se deja de lado aspectos importantes que pueden hacer variar los resultados de manera radical, donde no se indica si se trata de un porcentaje considerado en peso o en volumen, hecho debido a su variación por humedad y nivel de compactación, y en segundo lugar no se explica si ese porcentaje corresponde a los resultados de las pruebas de sedimentación en agua o si se trata de procesos de tamizado en seco. El argumento tiene poca solidez ante esta serie de proporciones, debido a la diversidad en el comportamiento de las arcillas que, asociada a sus posibles formas de interrelación con los demás componentes del suelo, generan una variedad infinita de comportamientos. De este modo, mientras que es posible aceptar rangos máximos de presencia de arcillas, los parámetros mínimos son difíciles de marcar (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

Limo, arena y grava

Las propiedades del limo, la arena y la grava son totalmente distintas a las de la arcilla. Estos son solo agregados sin fuerza aglutinante y están formados a partir de rocas erosionadas en cuyo caso tienen cantos filosos o por movimiento del agua en este caso son redondeadas. El limo participa de forma limitada en la actividad química del suelo, con las partículas de diámetro inferior, mientras que su influencia en la relación entre el agua y suelo no es insignificante, y se incrementa con el aumento de los diámetros menores de este. La arena representa la parte inerte del suelo y tienen por lo tanto solamente funciones mecánicas, constituyen el armazón interno sobre las cuales se apoyan las otras fracciones finas del suelo, facilitando la circulación del agua y del aire. Ver gráfico 4 que muestra la proporción de las partículas.

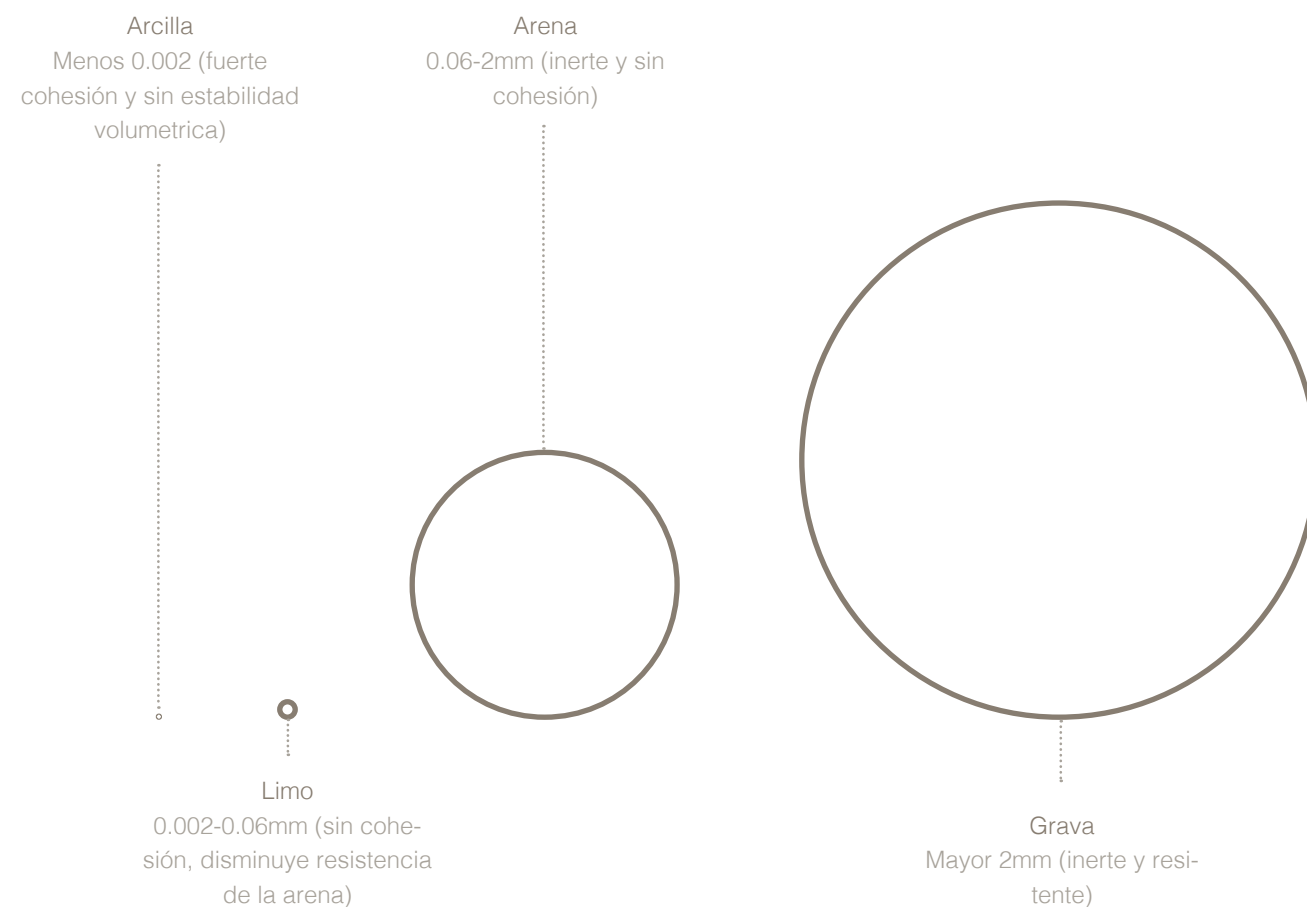


Gráfico 4. Proporciones de los componentes de la tierra, Fuente: propia.

Agua

El agua constituye un elemento fundamental dentro del proceso ya que cumple dos funciones sustantivas: en primer lugar, permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño, y, en segundo lugar, activa las propiedades adhesivas de la arcilla (Guerrero F., 2010). El agua activa las fuerzas aglutinantes de la tierra, porque cuando la tierra se humedece la arcilla seca, esta se expande ya que el agua se desliza entre las estructuras laminares, recubriendo las láminas con una fina película de agua. Si esta agua se evapora la distancia interlaminar se reduce y las láminas se acomodan paralelamente debido a sus fuerzas de atracción eléctricas. Así, la arcilla obtiene una fuerza aglutinante, si está en estado plástico y obtiene resistencia a la compresión luego del secado.

Existen tres tipos diferentes de agua en la tierra: agua de la cristalización (agua estructural), agua absorbida y agua capilar (agua de poros). El agua de cristalización está químicamente enlazada y se puede distinguir solo si la tierra es calentada desde 400 °C a 900 °C. El agua de absorción está eléctricamente enlazada a los minerales de la arcilla. El agua capilar es agua que entra en los poros del material por acción capilar. El agua absorbida y la capilar se desprenden del material cuando se calienta la mezcla a 105 °C (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

La expansión de la tierra al entrar en contacto con el agua, así como su retracción al secarse son desventajosos para su uso como material de construcción. La expansión ocurre solamente si la tierra entra en contacto directo con mucha agua perdiendo así su estado sólido. La absorción de humedad del aire sin embargo no conduce a la expansión. La magnitud de la expansión y la retracción depende del tipo y cantidad de arcilla y también de la distribución granulométrica del limo y la arena. En otras palabras, la tierra en contacto con el agua se expande y ablanda, en cambio bajo la influencia del vapor, esta absorbe la humedad, pero permanece sólido y mantiene su rigidez sin expandirse.

La estructura porosa de la tierra le permite almacenar y transportar agua a través de los vasos capilares. De ese modo el agua se mueve de regiones

de mayor humedad hacia regiones de menor humedad. La máxima cantidad de agua que puede ser absorbida en comparación con el volumen es valor importante debido al fenómeno de la condensación. Por tanto, el contenido de humedad del material depende de la temperatura y de la humedad del ambiente y la efectividad de este proceso de balance depende también de la velocidad de la absorción y la expulsión.

Aunque la tierra esta seca posee una humedad característica, que depende de la humedad del aire del ambiente. Mientras mayor la humedad, mayor la cantidad de agua absorbida por el material. Si la humedad del aire reduce, el material emitirá agua. Las curvas de absorción de diferentes tipos de tierra varían de 0.4% para una tierra arenosa con 20% de humedad del aire, a 6% para una tierra arcillosa con 97% de humedad del aire. (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005). Mientras mayor es el contenido de arcilla, mayor es el equilibrio del contenido de humedad. Se debe tomar en cuenta que, para el efecto de balance de la humedad de los materiales de construcción, la velocidad del proceso de absorción y de emisión son más importantes que el equilibrio del contenido de humedad.

La humedad del aire en los espacios internos ejerce una influencia significativa en el bienestar y la tierra tiene la capacidad de balancear la humedad del aire como ningún otro material. Una humedad relativa menor al 40% durante un largo período conlleva a una disminución de la resistencia a los resfríos y a enfermedades relacionadas. Una humedad relativa entre 50 a 70% tiene influencias positivas, pues reduce el contenido de polvo fino en el aire, activa los mecanismos de protección contra los microbios, disminuye la vida de muchas bacterias y virus y disminuye los olores y la electricidad estática en las superficies de objetos. Una humedad relativa mayor al 70% reduce la absorción de oxígeno de la sangre en condiciones cálido-húmedas. El crecimiento de hongos en espacios cerrados se incrementa cuando la humedad alcanza más de 70 o 80%. Las esporas de hongos en grandes cantidades pueden conllevar a diferentes enfermedades y alergias. Se puede establecer que el contenido de humedad en un ambiente interior no debe ser menor a 40% ni mayor a 70% (Guerrero F., 2010).

La influencia del espesor de las capas de tierra en relación con la absorción provoca que cuando la humedad incrementa de 50% a 80% solo 2 cm de las capas exteriores absorben la humedad en 24 horas y en los 4 primeros días solo la capa exterior de 4 cm es activa.

Características asociadas

La resistencia a la cohesión es la tracción de la tierra en estado plástico, depende del tipo de minerales arcillosos y del contenido de agua, mientras que la resistencia a la compresión de elementos secos depende de la distribución granulométrica del limo, arena y agregados mayores, asimismo, la flexión depende del contenido de arcilla y del tipo de minerales de arcilla. La tracción del material seco no es relevante debido a que la tierra no se somete a las fuerzas de tracción.

Resistencia

El volumen de aire alojado en los poros de un material y su humedad resultan relevantes para el efecto de aislamiento térmico. Mientras más ligero el material, mayor es su aislamiento térmico y mientras más húmedo el material menor es su efecto aislante. La tierra tiene un calor específico de 0.1 kJ/kg K que es igual a 0.24 kcal/kg °C. La velocidad en que un material absorbe y pierde calor se define por la difusión térmica que es dependiente del calor específico, la densidad y la conductividad térmica. Una alta capacidad de almacenamiento crea un largo retraso de la penetración del calor y una disminución de la amplitud térmica, mientras que un alto aislamiento térmico reduce la amplitud de la térmica. La amplitud es cuatro veces mayor en una construcción de concreto en comparación con una vivienda de tierra (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

Temperatura

Los suelos arcillosos tienen usualmente un valor de acidez entre 7 y 8.5. Si la tierra se extrae de zonas industriales puede ser ácido, si se extrae de las capas superiores debido a lluvia ácida. Una acidez de más de 7 usualmente previene el crecimiento de hongos, ya que el valor de acidez favorable para el crecimiento de hongos varía usualmente entre 6.5 y 4.5 (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

Acidez

Sobre bloqueo o protección que ofrecen los materiales de construcción a las ondas electromagnéticas, como celulares, microondas, teléfonos inalámbricos, entre otros, a 24 cm de espesor de 1600 kg/m³ de densidad y 15% de huecos con aire en su interior, expuesto a una frecuencia en un rango de 1,8 a 1,9 GHz, amortigua las ondas en 22dB equivalente a una reducción de 99.4% (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005).

Ondas

Suelos de CR



Ultisol



Andisol



Inceptisol



Entisol



Alfisol

Gráfico 5. Composición de los suelos de Costa Rica. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

El suelo es un recurso natural valioso para nuestro país que posee diferentes propiedades físicas, comportamiento hidrológico y mecánico.

La presencia de una alta variabilidad de material distribuido en un relieve heterogéneo y sometido a la acción de condiciones climáticas y biológicas variables ha originado en el territorio costarricense, en un tiempo relativamente corto, una manifiesta diversidad de suelos.

De acuerdo a la taxonomía de suelos de la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, se observa que el país puede agruparse en inceptisoles, ultisoles, andisoles, entisoles y alfisoles.

Ultisol



Gráfico 6. Composición de los suelos tipo Ultisol. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Este orden de suelos es uno de los más viejos que se puede encontrar en el país, y por lo general se encuentran en lugares muy húmedos donde existe mucha precipitación, lo cual provoca que se laven las bases como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Tiene tonalidades rojas debido a la deshidratación o lixiviación del hierro (Fe). También se puede encontrar coloraciones amarillentas esto cuando el suelo se encuentra hidratado. Tienen un alto contenido de aluminio extraíble y son bajos en calcio, por lo que se puede definir como suelos ácidos. Se desarrollan en relieves que van desde ligeramente ondulados hasta fuertemente ondulados con suelos profundos, y bien desarrollados con una transición difusa entre las diferentes capas del suelo Cuenta con texturas finas a muy finas como es el caso de las arcillas. Aproximadamente este orden de suelo corresponde a un 46,81%.

Andisol



Gráfico 7. Composición de los suelos tipo Andisol. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

El término andisol deriva del japonés ando que significa suelo oscuro y de la raíz latina sol que significa “suelo”, haciendo alusión a su carácter de suelos negros de formaciones volcánicas, por tanto, estos suelos se pueden encontrar en las áreas de influencia de los volcanes. Se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos como, piedra pómez y lavas. Tienen altos valores en contenido de materia orgánica, por lo que, en regiones subhúmedas y húmedas, poseen buena acumulación de humus. Este tipo de suelo se descompone rápidamente, formando mezclas amorfas de aluminio y silicato. Son suelos de texturas medias, franco arenoso, franco o franco limosa, siendo de moderada a débil estructuración. Por lo general son suelos de color negro en la superficie y de colores café con la profundidad. Este orden de suelo corresponde a aproximadamente a un 15,11% del territorio nacional.

Inceptisol



Gráfico 8. Composición de los suelos tipo Inceptisol. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Su origen proviene del efecto de la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre la superficie terrestre de suelos con perfil poco desarrollado formados de materiales transportados por corrientes de agua que se depositan en laderas, producto de desprendimientos o deslizamiento de roca o suelo, que permanecen sin recibir nuevos aportes de sedimentos por un cierto periodo de tiempo. La mayoría de estos suelos se ubican en terrenos planos y ligeramente ondulados. Se consideran suelos recientes. Presenta una descomposición ligera a moderada del material por ausencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y, compuestos de Aluminio o Hierro. Tiene diferenciación en las diferentes capas del suelo y específicamente en el subsuelo hay evidentes cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato. Presentan alto contenido de materia orgánica. Aproximadamente este orden de suelo corresponde a un 14,86% de Costa Rica.

Entisol



Gráfico 9. Composición de los suelos tipo Entisol. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Son suelos derivados de fragmentos de roca suelta, su origen es muy reciente formados sobre abanicos aluviales, llanuras de inundación, o en las montañas en áreas cuya erosión geológica está en equilibrio con el desarrollo de suelos. En algunos casos pueden presentar problemas de descomposición del suelo bajo condiciones de saturación de agua. Estos suelos se pueden encontrar desde pendientes planas a casi planas menos del 3% hasta fuertemente escarpadas, más del 75% de pendiente. Generalmente los Entisoles se pueden ubicar en tierras erosionadas, semiáridas. Se caracterizan porque su profundidad efectiva podría ser menor a 50 cm, por presencia de niveles freáticos superficiales y saturación permanente de agua en algunas ocasiones. Presencia de texturas muy finas o presencia de texturas gruesas en todo el perfil del suelo, generando suelos de diferentes coloraciones. Este orden de suelos equivale a aproximadamente al 13,80% del territorio nacional.

Alfisol



Gráfico 10. Composición de los suelos tipo Alfisol. Fuente: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

Estos suelos se originan por el movimiento vertical del agua por períodos prolongados en condiciones de alta temperatura sobre prácticamente cualquier tipo de roca madre. Son típicos de zonas con cambios estacionales entre húmedo a semiárido, con déficit de humedad de más de cinco meses al año. Poseen buen contenido de átomos con cargas positivas intercambiables con un porcentaje de saturación de bases superior al 35%. Presentan una capa de suelo superficial de color claro con bajo contenido de materia orgánica y susceptibilidad a los procesos de degradación. Las capas del suelo superficiales muestran evidencias claras de translocación de partículas de arcilla, por lo general son suelos de color rojo. Se encuentran húmedos la mayor parte del año por ser suelos de regiones húmedas. Tiene pendientes entre de 8% a 10%, inclusive puede llegar hasta más de 75%. Este orden de suelo corresponde a un 6,58% del territorio nacional.

Conclusiones

La tierra como materia prima cuenta con yacimientos alrededor de toda zona en la se quiera construir, lo que cambia es su composición y profundidad para poderla utilizar. En nuestro territorio contamos con una distribución granular arcillosa, al ser categorizado gran parte del suelo como Ultisol, por tanto, tenemos en abundancia el elemento aglutinante, pero careciendo de elementos estructurales como el limo, arena y piedra.

Para la construcción en tierra la composición debe estar balanceada proporcionalmente entre elementos finos y medianos, arcilla y arena respectivamente, pues una mezcla con tierra arenosas a pesar de poseer gran estabilidad ante los cambios de humedad o temperatura, la falta de arcilla lo hace frágil a la erosión, y en cambio, una tierra arcillosa tiene una alta cohesión pero presenta fenómenos de humidificación y secado continuamente, sufriendo cambios volumétricos capaces de generar agrietamientos al activarse la arcilla ante la presencia de agua.

Los elementos en tierra tienen la capacidad de controlar la humedad de su alrededor, siendo una estrategia para el diseño bioclimático que hay que aprovechar, pues esta capacidad favorece a la obtención de espacios internos confortables y saludables, donde a mayor contenido de arcilla en la composición, mayor es el equilibrio del contenido de humedad, y por consiguiente temperaturas mas frescas.



Imagen 15. Tierra extraída.
Fuente: propia.

Introducción
Construcción en tierra
Selección de la tierra
Sistemas terreos
Sistema tapial
Conclusiones

Construcción en tierra

03



Imagen 16. Compactación en encofrado para muros hechos en tapia. Fuente: propia.

Al comparar las técnicas de construcción utilizadas en la antigüedad y las empleadas hoy, se constata que ellas han evolucionado, pasando por cambios y adaptaciones propias del conocimiento adquirido a través de investigaciones, prácticas y del medio social, económico y cultural donde se ejecutan. Así es que la fuerza del trabajo del ser humano va siendo reemplazada por equipos y herramientas, donde las técnicas constructivas en tierra van ganando confianza en la sociedad.



Imagen 18. Muro de tapial compactado. Fuente: propia.



Imagen 17. Instalación eléctrica en muros de tapia. Fuente: propia.

Introducción

El sector de la construcción, actualmente, es uno de los principales sectores que produce más residuos y que consume más materiales y energía. Como es sabido, estos recursos son limitados, y la reducción de esta demanda se puede alcanzar con la reutilización, reciclado o regeneración de los materiales empleados. Esto hace pensar que hay motivos más que justificados para volver a reivindicar la sencillez y las propiedades de la tierra.

La construcción en tierra trata de estructuras armónicamente integradas a su entorno natural en las que se logra conseguir un adecuado nivel de confort de los espacios gracias a las propiedades sostenibles, de bajo impacto ambiental y de gran capacidad expresiva. Los prejuicios contra la tierra son contradictorios y generalmente relacionados con la ignorancia. Para muchas personas resulta difícil concebir que un material natural como la tierra no necesite ser procesado y que en muchos casos la excavación de cimientos ofrezca un material que puede ser utilizado directamente para construir.

La extracción, fabricación y transformación de muchos materiales de construcción a menudo implica intervenciones graves en el medio natural, con la consiguiente producción de emisiones CO₂ y el consumo de grandes cantidades de energía. Cada persona es responsable de estos procesos y por eso debería tratar de reducir los efectos perjudiciales de estos en nuestro entorno de vida natural. Materiales naturales como la madera, la tierra y la piedra sólo necesitan ser extraídos desde el ciclo de vida natural y puede ser directamente fabricado o elaborado. A diferencia de otros agentes de unión, el efecto cohesivo de la arcilla en materiales de construcción de tierra no necesita ser activado por cocción o curado químico. Y debido a que las fuerzas de unión en la arcilla son reversibles, los materiales de tierra se pueden volver a estado plástico, remodelar o reutilizar en otra forma. Otros materiales de construcción tales como el acero y el vidrio también puede ser reformados, pero requieren la entrada renovada de grandes cantidades de energía.

Actualmente, en el mundo, millones de personas sufren de algún tipo de trastorno físico o mental causado por los espacios internos. Los edificios deben tener como objetivo principal crear una vida agradable, cómoda y saludable. Hoy día una sola evaluación sobre la base de criterios estándar, tales como la estabilidad estructural, la seguridad contra incendios y el ruido y el comportamiento térmico no es suficiente. La higiene y los aspectos

humanos son cada vez más importantes. Con la reducción de las tasas de cambio de aire en los edificios contemporáneos muy bien aislados y sellados, el papel desempeñado por las superficies que encierran los espacios se vuelve más importante. Esto se aplica particularmente con respecto a la humedad del aire interior. Para evitar los niveles de humedad ampliamente fluctuantes en áreas críticas, es importante que las superficies más exteriores de la pared sean capaces de adaptarse y absorber a las fluctuaciones del grado de humedad del aire. La capacidad de absorción de los materiales de tierra no sólo sirve como un tampón eficaz para la humedad en el aire, sino que también contribuye en un grado limitado, pero medible, a la absorción de los olores. Los materiales de construcción con tierra son, por lo tanto, ideales para mejorar el clima de los ambientes interiores.

Sus características permiten un número de aplicaciones dentro de la misma construcción, donde destaca su utilidad como material para acabado interior y exterior, pavimentos y estructura. La calidez táctil de los materiales de la tierra, que aportan un valor añadido como material de construcción. Las agradables texturas, la simplicidad de las superficies conseguidas y la riqueza de tonalidades que posibilita la tierra seducen de manera poderosa. Estos atractivos vienen a explicar el que en la mayoría de las construcciones se haya optado porque el propio material se visualice claramente en la superficie de los muros. El bello efecto cromático de la tierra se enriquece, en ocasiones, con particulares efectos visuales, ver imagen 19.

Imagen 19. Estética de construcción en tierra. Fuente: Rammed Earth Works.



Selección de la tierra

La tierra como material de construcción es utilizada, básicamente, de dos modos embebida en agua, constituyendo una masa plástica o una mezcla húmeda, compactada o prensada, denominada tierra comprimida. En el primero caso, el producto resultante posee una porosidad elevada debido a la evaporación del agua adicionada en la preparación del barro. Presenta propiedades mecánicas y de impermeabilidad diferentes y menores que las del material obtenido mediante la compactación.

Cualquier suelo, con excepción de los altamente orgánicos puede ser utilizado como material de construcción. En las zonas semiáridas y áridas, es posible encontrar suelos adecuados en la superficie, después de eliminar piedras, raíces y todo material orgánico presente. No obstante, existen limitaciones al uso de determinados suelos por razones de la capacidad de trabajo y otras características no deseables al uso propuesto.

Es habitual que se emplee la tierra del propio local donde se hará la construcción y la utilización de un solo tipo de tierra. Sin embargo, algunas veces, la tierra resultante de una mezcla de dos o más tipos de suelo produce mejores resultados.

Las propiedades mecánicas y de permeabilidad de la tierra pueden ser mejoradas significativamente por la adición de algunos productos estabilizadores. Es importante aclarar que la estabilización del suelo es un término general que se puede utilizar para diversas áreas de la ciencia y tiene un significado específico en cada una de ellas. En el caso de la construcción y de la arquitectura de tierra, el concepto significa mejorar los parámetros estructurales, principalmente la resistencia y la durabilidad del edificio. La expresión estabilización de suelos se refiere, en su sentido más amplio, a todo proceso a través del cual el suelo mejora sus características, adquiriendo así las propiedades necesarias a la finalidad que se destina.

La estabilización de suelos para adecuarlos al uso que se pretende no es un procedimiento reciente, como es el caso del abobe que se le adiciona paja durante la producción para disminuir la permeabilidad o reducir la retracción. En técnicas como el tapial donde se mezcla con otros suelos para mejorar sus características granulométricas y la adición de aglomerantes, son tipos de estabilización de uso frecuente. Además de la corrección granulométrica, Neves y otros (2011) clasifican la estabilización del suelo con las siguientes denominaciones y características:



Cimentación

Consiste en adicionar al suelo una sustancia capaz de solidificar los granos de arena y las partículas arcillosas de forma a obtener un esqueleto interno que haga oposición a la capacidad de absorción de agua por la arcilla. Los estabilizadores más conocidos son el cemento y la cal.



Armazón

Se agrega al suelo un material de cohesión como granos o fibras, que permita asegurar por fricción con las partículas de arcilla, una mayor firmeza al material. La resistencia mecánica final del material es reducida, pero se favorece la estabilidad y durabilidad. No hay una determinación específica para los materiales a ser empleados, pues depende de la disponibilidad y de las adaptaciones locales.



Impermeabilizar

Se envuelven las partículas de arcilla por una capa impermeable, volviéndolas estables y más resistentes a la acción del agua. Uno de los inconvenientes del uso de esta estabilización del material es la pérdida de plasticidad, a pesar de ganar en cohesión, lo que requiere la utilización de mayor cantidad de agua para amasar y limita las técnicas constructivas a ser utilizadas.



Química

Se agrega al suelo diversas sustancias capaces de formar compuestos estables con los elementos de la arcilla. Los productos químicos varían de acuerdo con la composición química de la propia arcilla. Por lo tanto, en ese caso, es necesario un análisis químico de la misma.

Las técnicas de construcción en tierra son muy variadas y estas dependen de la plasticidad del material respecto a su aplicación en obra que van desde un estado sólido como el tapial, hasta líquido como el Cob. Se presentan a continuación para entender lo que se está haciendo hoy en día 4 técnicas con una visión internacional.



Cob



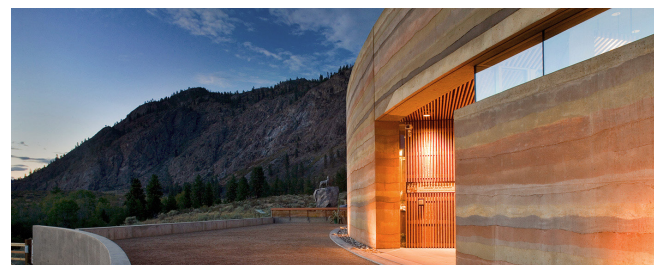
Adobe



BTC



Bahareque



Tapial

Imagen 20. Sistemas constructivos en tierra.

Cob

La técnica del Cob consiste en el apilado sobre el muro de barro y fibras vegetales, previamente amasadas y secadas durante un día, lo que permite que el volumen de estas sea grande. Las pelladas son colocadas sobre el muro con horcones y pisadas para compactarlas. La composición del material es parecida al adobe, pero el moldeado se realiza directamente en el muro sin previo confinamiento en un paralelepípedo. Pasados dos días, una vez que ha adquirido cierta consistencia, el material sobrante se corta con una pala y se enrasa el muro con este sistema se han construido muros de 40 y 200 cm de espesor y permite fácilmente realizar secciones ataludadas.

Imagen 21. Wohnhaus Flury, Suiza. Fuente: Spaceshop.



Adobe

El adobe es un ladrillo de tierra cruda moldeado al estado plástico, secado al aire libre y posteriormente asentado en un mortero de tierra. El adobe frecuentemente se mezcla con paja, los moldes que se utilizan son de forma prismática con tamaños variables, algunos países tienen medidas estandarizadas para estos bloques. Cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual se denominan bloques de suelo, aquellos producidos mediante un extrusor en una ladrillera sin cocer se denominan ladrillos crudos y los bloques más grandes compactados en un molde se denominan bloques compactados. Los ladrillos de tierra fueron en un principio modelados a mano, en formas de esferas o conos, antes de ser producidos en los moldes e industrializados notablemente por los productores de ladrillos que son más económicos.

Imagen 22. Jardín y restaurante Tierra adentro, México.
Fuente: Plataforma arquitectura.



BTC

El bloque de tierra comprimida llamado BTC, es el elemento de tierra compactada en el moldeo por compresión, seguido por el desmolde inmediato. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica. El BTC, en general, es moldeado por prensado con moldes cuyo formato posibilita producir piezas de formas y dimensiones variadas. La maquinaria disponible para su fabricación es diversa y puede atender a las necesidades de producción para las edificaciones de diferentes envergaduras. Se puede utilizar desde un sencillo equipamiento de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial

Imagen 23. Centro de arquitectura de la tierra, Mali.
Fuente: Plataforma arquitectura.



Bahareque

El bahareque es una técnica de barro lanzado. El barro se mezcla con paja picada o a veces con fibras, se lanza o se compacta sobre la malla de tal manera que todos los elementos estén cubiertos con al menos 2 cm de la mezcla. La estructura consiste en elementos verticales y horizontales que forman una malla, compuesta por varias columnas de madera a las cuales se les ha colocado varas de forma horizontal y relleno y revocado con barro, correspondiendo a una estructura de entramados. Si el recubrimiento no tiene un espesor suficiente y si las fisuras no se reparan debidamente la pared se deteriora rápidamente. Una de las ventajas de estos entramados con tierra son su rapidez de ejecución, adaptabilidad e independencia que permite flexibilidad en diseño.

Imagen 24. Edificio comunitario, Guadalajara México. Fuente: Plataforma arquitectura.



“[El sistema tapial] ha sido de las técnicas de puesta en obra de la tierra cruda, la que ha atraído la **mayor atención** por parte de arquitectos y constructores y también, la que ha experimentado **mayores innovaciones técnicas** con la introducción de los encofrados industriales y el apisonado mecánico” (Font & Hidalgo, 2011)

“El **consumo de agua** en la producción y en la obra es especialmente bajo en el tapial [...] donde la tierra se trabaja con una **humedad cercana al 10%.**” (Bestraten, Hormías, y Altemir, 2011)

“La comparativa muestra claramente cómo la tierra [sistema tapial] emite una **cantidad muy reducida de CO₂** en comparación con los materiales convencionales.” (Bestraten, Hormías, y Altemir, 2011)

Sistema tapial

La técnica del tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos. El tapial es una técnica o sistema constructivo mediante el cual se levantan muros o paredes utilizando dos tableros paralelos o encofrados que le sirven de horma y en los que se utiliza el recurso del apisonado como medio de estabilización y consolidación de la masa. Los tapiales, por extensión, son también los encofrados o tableros necesarios para la ejecución del muro. El proceso de producción del muro consiste en pulverizar el suelo, secar, tamizar, añadir aglomerante (para mejorar los parámetros de su estructura), añadir agua hasta el contenido óptimo de humedad, colocarlo dentro de un molde y finalmente, compactar hasta obtener la densidad máxima.

La tapia, en muchos lugares y situaciones, puede responder positivamente a los desafíos en el actual escenario, por lo tanto, cuando es empleada apropiadamente, tiene bajo consumo de energía en el proceso de producción, en general no necesita transportar materia prima y es reciclable, pues cuando se demuelen, las paredes vuelven casi por completo a su condición original de suelo. Además de estas características, la tapia tiene excelente inercia térmica y permite el intercambio de humedad con el ambiente, garantizando así menor o nulo consumo de energía de acondicionamiento de aire en los locales construidos. De las técnicas que se están modernizando en tierra, las cualidades descritas anteriormente son la razón por la cual este sistema se profundiza siendo viable para una arquitectura actual en tierra en nuestro país. Durante la pasantía en Rammed Earth Solar Homes se obtuvieron los conocimientos prácticos acerca del sistema tapial, gracias a la ayuda de Quentin Branch. Se conocieron los requerimientos en cuanto a diseño para la construcción en tierra y, asimismo, la recomendación de experimentar antes de seguir una receta.



Imagen 25. Desert cultural centre. Fuente: Sirewall.

Mezcla

La materia prima básica para la tapia es la tierra, además de una pequeña cantidad de agua. No todos los tipos de tierra se prestan para la tapia. Por lo tanto, es necesario conocer las principales características de la tierra, así como las alternativas para el empleo de una tierra que, naturalmente, no parece del todo apropiada, ya sea por la corrección granulométrica o el uso de aglomerantes y otros materiales.

Los suelos más adecuados para la tapia son los arenosos. Sin duda, este material, debidamente seleccionado y bien utilizado, además de poca o ninguna necesidad de aglomerante u otros aditivos, puede dar paredes muy fuertes y duraderas. El suelo arenoso facilita también el primer trabajo que se realiza en la construcción de un edificio de tierra, que es la extracción de la materia prima de su lugar de origen, sea de un yacimiento externo o del propio sitio de la obra. La mayoría de los estudios indican que los suelos apropiados para la tapia deben tener baja cantidad de limo, poca materia orgánica y contenido alrededor del 30% de arcilla y 70% de arena (Neves, 2011). Sin embargo, aun en suelos con distribución granulométrica similar, se tiene una gran variabilidad de los resultados que se pueden atribuir principalmente a las características de la arcilla y en algunos casos, a las de la arena. Por tanto, se debe buscar un tipo de tierra con cantidades bien distribuidas de arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla para obtener, cuando se compacta, el menor volumen de vacíos y, por consiguiente, una densidad más elevada, a este concepto se denomina continuidad granulométrica.

Por lo tanto, no hay uno o algunos tipos de suelo adecuados para la tapia, sino una serie de consideraciones que deben hacerse para utilizar este material extraordinario en la construcción. La primera consideración que debe hacerse es sobre la necesidad de su corrección, o sea, de mezclar ese suelo disponible con otros para mejorar las características. Es siempre importante analizar la posibilidad de la corrección granulométrica de la tierra, pues así el trabajo se facilita en el momento de la compactación.

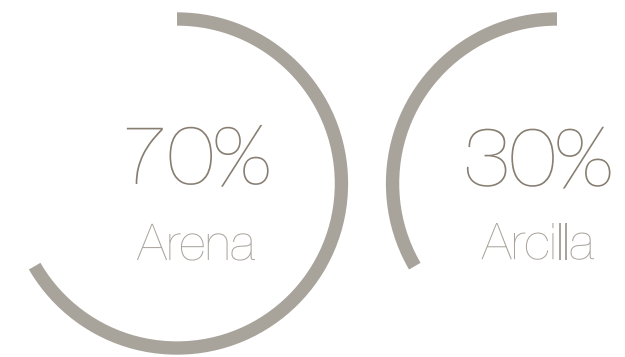


Imagen 26. Mezclado de la tierra con cemento. Fuente: propia.



Aglomerante

La idea es agregar un producto para optimizar las características de resistencia, durabilidad y, en algunos casos, obtener las mejores condiciones para manipular el material. Cabe señalar, sin embargo, que, para la tapia, el principal responsable de la estabilización de la tierra es la energía de compactación

Los aglomerantes de uso común son el cemento y las resinas, estos materiales son normalmente usados con diversas funciones, tales como la impermeabilización y la cohesión de las partículas, la mejora del manejo de la tierra, entre otras. Las paredes más delgadas, necesitan una mayor cantidad de aglomerante que las más gruesas para lograr la misma resistencia. Durante los talleres realizados se utilizó un aditivo acrílico en base a agua llamado Acryl 60 (ver imagen 27) y cemento. En la elección del tipo y la cantidad del aglomerante, es necesario tener en cuenta la calidad del suelo, su función y las dimensiones de las paredes, el clima del lugar, la tradición constructiva, las facilidades y dificultades en la obtención de materiales, y las condiciones económicas del momento.

Imagen 27. Mezcla de aglomerante con el agua. Fuente: propia.



Imagen 28. Corrección con aglomerantes. Fuente: propia.

El hormigón ha sido el material de construcción de referencia del siglo XX, y un claro ejemplo de progreso para la edificación. Con la industrialización de los materiales de tierra se mejoran las características naturales del material y se garantizan unas calidades óptimas para su empleo y puesta en obra.

En general, el tapial como técnica de construcción con tierra necesita una intensiva cantidad y capacidad de trabajo. En este sentido la industrialización en la producción del tapial permitiría una racionalización de los costes de la mano de obra y tiempos de ejecución, a los que se podrían añadir mejoras en aspectos como la dosificación de tierra y agua, el control de calidad de ejecución, en especial el grado de compactación y, por supuesto, del acabado final.

Los principales equipos para la ejecución de la tapia son el encofrado, y el pisón. Otros equipos pueden ser usados en las actividades de preparación de la tierra, como el pulverizador y la mezcladora. El pulverizador se utiliza para reducir las partículas grandes y facilitar la labor para obtener las partículas sueltas del suelo. La mezcladora se utiliza para preparar la tierra con el aglomerante y el agua.

Equipo

Encofrados

Los encofrados de la industria del hormigón han representado una importante mejora para la ejecución de las tapias de tierra compactada, pero éstos han tenido que adaptarse ya que deben poder soportar empujes de compactación.

Los tipos de encofrados provenientes de la industria del hormigón que, lejos de las repetidas operaciones que exigían los tradicionales, posibilitan la ejecución de grandes lienzos de muro, reduciéndose apreciablemente los tiempos de ejecución. Con el empleo de estos encofrados y de maquinaria de elevación es cuándo se ha podido avanzar realmente, acometiéndose obras de gran envergadura. Dos concepciones distintas, pues mientras que en los primeros se repiten en numerosas ocasiones las operaciones de montaje y desmontaje, siendo, en cambio, manejables y no requieren de maquinaria de elevación, en los segundos se pueden realizar grandes paños de muro de una sola vez.

Es recomendable considerar durante el diseño de la edificación las dimensiones y tipo de encofrado a emplear, a fin dar solución a algunos de los problemas que esta técnica constructiva presenta y resolver los acabados de manera satisfactoria.

Los encofrados deben ser resistentes a la fuerza de impacto y a la presión ejercida por la tierra durante su compactación. Sin embargo, aunque estén bien armados, deben ser ligeros y fáciles de operar, pues las actividades de montaje y desmontaje de los moldes son fundamentales para optimizar la productividad.

Los materiales utilizados para fabricación de los moldes serán, junto con la tierra, unos de los principales responsables de la textura del panel. La tabla conducirá a un acabado más áspero, mientras un tablero de madera plastificado o las planchas de metal darán lugar a un acabado más liso. Para un acabado liso, los moldes se hacen de tabla contrachapada revestidos con una película de plástico, estructurada con piezas de madera maciza.



Imagen 29. Montaje de encofrado. Fuente: propia.



Imagen 30. Encofrado para construcción en tapial. Fuente: propia.



Imagen 31. Montaje de encofrado. Fuente: propia.

Pisones

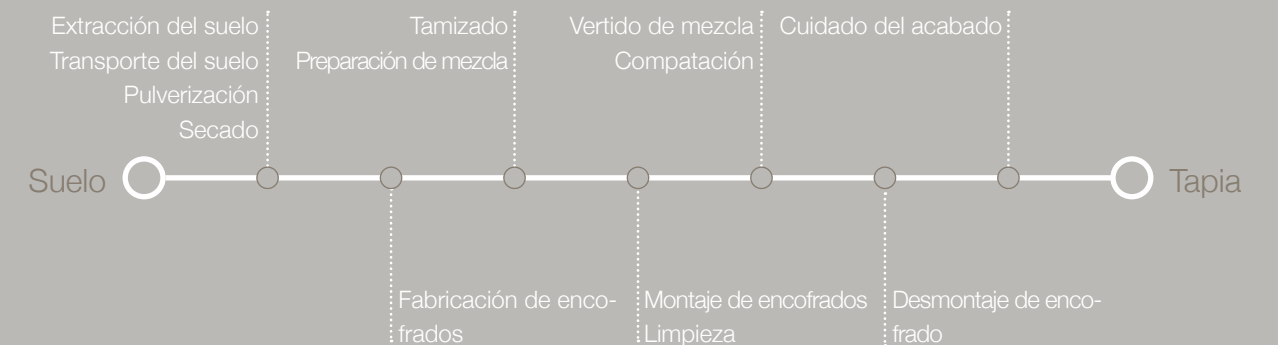
La aparición de los sistemas mecánicos de apisonado ha supuesto un avance de gran calado en esta técnica constructiva. Con ellos se logra, con menor esfuerzo, un aumento notable de los rendimientos, al tiempo que un mayor grado de compactación, con las consecuentes mejoras de las prestaciones mecánicas y de respuesta a la erosión hídrica. El más utilizado es el impulsado por aire comprimido con el que se puede graduar la potencia de impacto deseada.

Otros medios mecánicos de apisonado como las bandejas vibratorias con cambio automático de sentido de la marcha o las apisonadoras de rodillos vibratorias se vienen empleando con rendimientos de compactación elevados. Los primeros, apropiados solamente para suelos granulares, requieren, al igual que los segundos de encofrados industriales robustos.

Imagen 32. Apisonado de tongada de tierra en el encofrado. Fuente: propia.



Proceso productivo



En la preparación de la tierra se debe tener en cuenta el tipo de suelo pues es necesario pulverizar, es decir, romper las partículas grandes y dispersarlos para secarse. El suelo pulverizado y seco se cuela a través de un tamiz de apertura de malla de 4 mm a 8 mm y, cuando sea necesario, la corrección con otros suelos y la adición del aglomerante elegido. La mezcla debe ser preparada en seco, hasta obtener un color uniforme. Luego, lentamente, hay que añadir el agua hasta que alcance el contenido óptimo de humedad para la compactación, generalmente es de un 8% al 10% del volumen de la tierra.

Durante la compactación el encofrado debe estar nivelado, aplomado y finalmente trabado, después, la tierra es vertida en el molde y desparramada hasta formar una capa plana de unos 20 cm de altura, compactando la tierra continuamente.

Gráfico 11. Proceso productivo. Fuente: propia.

Prefabricación

La del tapial es un tipo de construcción pensada para su ejecución en obra. Está reconocido de forma general que esta técnica de construcción necesita de una intensiva cantidad y capacidad de trabajo. La prefabricación con tierra permite una ejecución flexible en dimensiones e incluso integrar instalaciones eléctricas y de climatización, para no afectar al aspecto final de la superficie.

Entre las ventajas encontramos la gran cantidad de partes del trabajo que se pueden realizar en taller al abrigo de las inclemencias, y que el montaje de las piezas propiamente dicho puede ejecutarse con relativa celeridad, sin embargo, debe planificarse muy bien todo el proceso constructivo a realizar en taller previamente a la ejecución de las piezas de tapial prefabricado, proceso que acostumbra a ser complejo y costoso. En una aplicación estandarizada esta desventaja se compensa, aunque conduce a limitaciones de diseño individualizadas.

El coste de los edificios producidos de esta manera es, por regla general, económicamente más caros que los ejecutados con muros hechos in situ. La prefabricación del tapial tiene ventajas decisivas respecto al trabajo in situ, propias de las técnicas racionalizadas:



La producción se puede realizar independientemente del tiempo exterior, evitando interrupciones e imprevistos durante la ejecución.



Se pueden calcular los rendimientos de ejecución con gran precisión, optimizando los métodos de trabajo.



Se reducen los tiempos de trabajo en obra.



Se mejora la planificación de la obra y la coordinación de las intervenciones en la misma, reduciendo los tiempos de entrega del conjunto edificado.



Se mejoran los procesos de control de calidad y así como la calidad final de la pieza (dosificaciones, grado de compactación, textura de acabado).



Imagen 33. Tapial prefabricado. Fuente: Rammed Earth Works.

Conclusiones

La construcción en tierra representa un camino sustentable para la reducción de emisiones de dióxido de carbono, pues la tierra sólo necesita ser extraída desde el ciclo de vida natural para ser directamente fabricada, asimismo, la arcilla humidificándola es más que suficiente para activar sus efectos cohesivos, evitando procesos de cocción y químicos. Una de las propiedades ambientales más beneficiosas es su reutilización que solo necesita volver a un estado plástico para reformarse.

Las técnicas constructivas varían en función de la plasticidad del material tierra respecto a su aplicación en obra, que van desde lo húmedo como el sistema tapial, hasta estado líquido como el cob. Los ejemplos mostrados contribuyen a la correcta valoración de la construcción tradicional y su trasposición a las necesidades y tecnologías actuales.

Bajo el marco de la sostenibilidad que busca el uso óptimo de los recursos naturales, el sistema tapial es el que utiliza menor cantidad de agua y energía, en comparación con las otras técnicas terreas. El tapial por la simplicidad en su proceso constructivo responde positivamente a procesos de autoconstrucción que, bien entendido y usado, es un material que proporciona posibilidades creativas y de diseño desde el punto de vista técnico y estético.

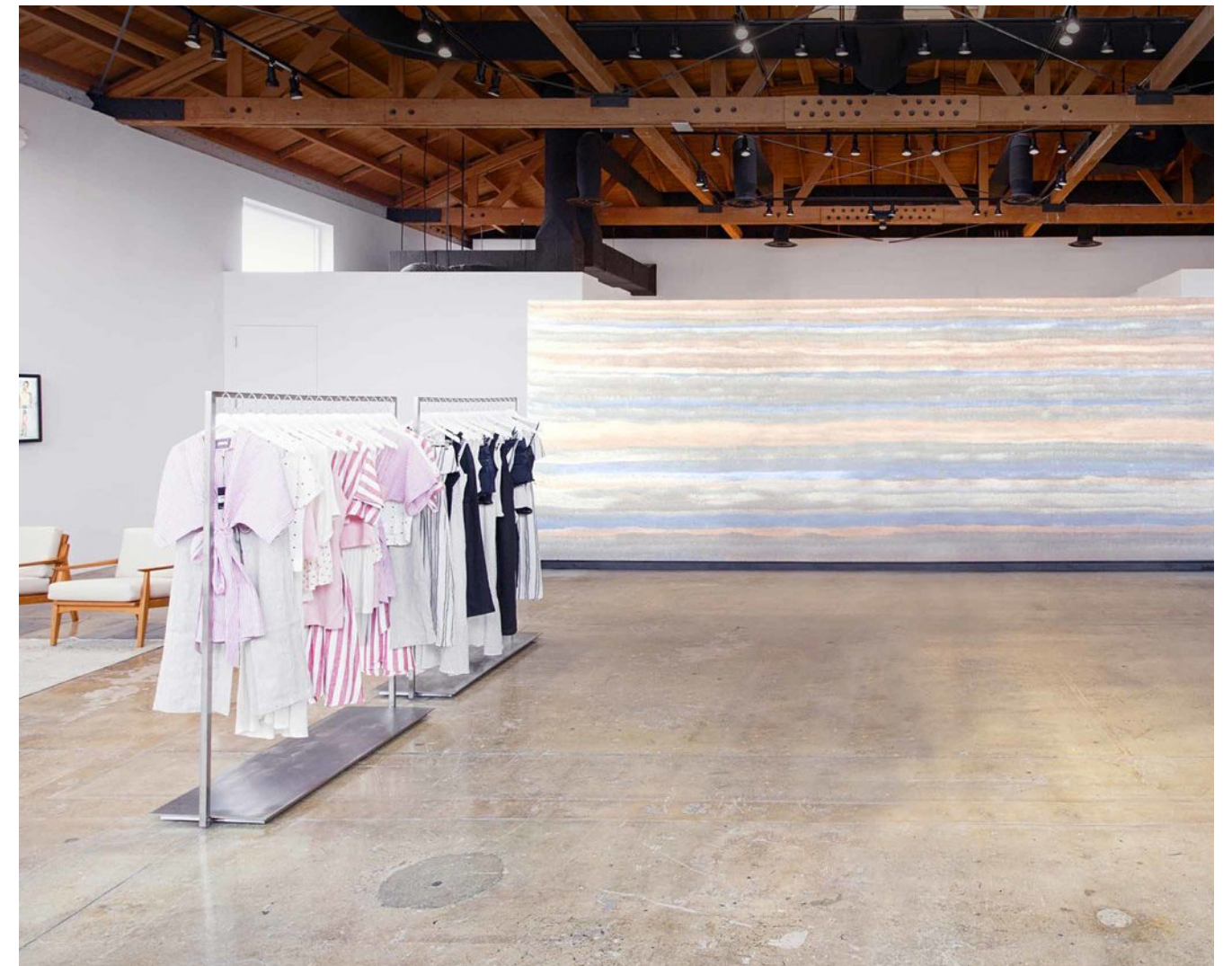


Imagen 34. Reformation
Melrose. Fuente: Rammed
Earth Works.

Introducción
Granulometría
Compactación
Plasticidad
Conclusiones

Ensayos de Laboratorio

04



Imagen 35. Herramientas para elaboración de prueba proctor. Fuente: propia.



Imagen 36. Ejecución de prueba proctor. Fuente: propia.

Introducción

El reconocimiento preciso de suelos adecuados a la construcción se hace a través de diversos ensayos en laboratorio. La gran ventaja de estos ensayos es que son normalizados, obteniéndose resultados cuantitativos de sus características que facilitan la comparación con los resultados de otras experiencias y la identificación de la tierra ideal para su reproducción. Las siguientes pruebas se realizan para comprender el rendimiento del material disponible en nuestro contexto nacional.



Imagen 37. Prueba proctor durante taller de construcción con tapial. Fuente: propia.

En los criterios para selección se consideran la granulometría, la maleabilidad y la densidad, tomando en cuenta las relaciones existentes entre la composición, la plasticidad y la compactación es posible elaborar recomendaciones, con razonable nivel de seguridad a partir de los resultados. Ellos indican la necesidad de corrección granulométrica, término que se usa cuando es necesaria la mezcla de tierras de diferentes características.

Imagen 34
Pruebas de proctor durante taller de construcción con tapial

Experimento

Las pruebas se realizaron con tierra extraída de Desamparados, lo que nos ayuda a caracterizar alrededor de un 47% de la tierra del territorio nacional, al pertenecer esta región a como se observa en los mapas de tipos de suelo de Costa Rica, a la categoría Ultisol.

La tierra para poder ser utilizada como material constructivo, es necesario remover toda el agua que esta contiene, para que cuando se realicen las mezclas contar con la certeza que la cantidad de agua que se ingresa es la necesaria y no que esta contenga más.

Después de haber secado el material, se debe tamizar para extraer las partículas mayores como la grava y obtener como producto partículas iguales o inferiores a la arena, logrando así que la arena y el limo funcionen como estructura en la composición, y la arcilla como aglutinante. Mediante el ensayo granulométrico obtenemos la composición exacta del suelo en sus partículas elementales, para que cuando se realiza la mezcla saber con que tipo de materia prima se cuenta y realizar si fuera necesario la pulverización de partículas grandes.

Luego de obtener la composición de la tierra, se realiza la mezcla para ejecutar las pruebas de compactación y plasticidad. Como se busca el mejoramiento de las propiedades del material contra fenómenos naturales, como lo es la precipitación que erosiona las construcciones en tierra, se realizan dos mezclas buscando comprender el comportamiento del material bajo condiciones naturales de extracción y otra mediante aditivos, optimizando la conducta del material.

Para la primera mezcla, a la tierra se le adhiere de forma homogénea un 10% de agua del total del peso de esta, quedando húmeda lista para realizar las pruebas. La segunda mezcla que es mediante aditivos se puede dividir en tres partes, la primera es una mezcla en seco donde a la tierra se le añade un 10% de cemento blanco para evitar alterar el color

de la tierra; la segunda parte es una mezcla líquida donde se le agrega al agua un 15% de aditivo no reemulsificable para morteros (Maxicril de Intaco); la última parte es mezclar de forma homogénea la tierra-cemento con un 10% de agua-maxicril del total del peso de esta, quedando húmeda lista para realizar las pruebas.

Los productos utilizados para la mezcla con aditivos, lo que hacen es incrementar las propiedades de adherencia del material, en la que se mejora la adhesión, flexión, compresión y dureza y, asimismo se reduce el fisuramiento y permeabilidad del material.

Tras obtener los dos tipos de mezclas, se realizan los ensayos de proctor, para obtener la densidad máxima, y finalmente la prueba plasticidad, para obtener la cantidad de agua necesaria donde cambiando de estado sólido a plástico. En el gráfico 12 se muestra un resumen del experimento montado a realizar.

Gráfico 12. Resumen de experimento. Fuente: propia.



Granulometría

El suelo es constituido básicamente por partículas que pueden ser agrupadas de acuerdo con las dimensiones de los granos. Cada grupo, o franja de dimensiones, presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción.

Las partículas contenidas en determinada franja son clasificadas como grava, arena, limo y arcilla; siendo que la arena también puede ser subdividida y calificada como gruesa, mediana y fina.

En general, la composición granulométrica del suelo es representada a través del diagrama denominado curva de distribución granulométrica, que muestra la relación entre la cantidad y dimensión de las partículas presentes. Ella es determinada a través del ensayo de tamizado para las partículas grandes como la grava y la arena, y para las partículas más finas como el limo y la arcilla, se hace por el análisis de sedimentación.

En el ensayo de tamizado, se determina la cantidad porcentual de las partículas que pasan o que son retenidas en los tamices de calibres normalizados; en el ensayo de sedimentación, se mide la velocidad de decantación de las partículas dispersas en el agua, en función de la variación de la densidad de la solución, calculándose sus proporciones en la muestra.

ASTM D422

Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de partículas en suelos. La distribución de partículas de tamaño mayor que 75 (retenido en la malla No. 200), se realiza por tamizado en mallas; mientras que la distribución de partículas con tamaños menores que 75 es determinado por un proceso de sedimentación utilizando un hidrómetro o medidor de la densidad aparente de un fluido viscoso que obtener los datos necesarios.

El ensayo de análisis granulométrico de suelos permite determinar la distribución de partículas de suelo y a partir de ello la curva granulométrica del mismo, de manera que se puedan obtener características que permitan clasificar el suelo en análisis por alguno de los sistemas de clasificación de suelos existentes.

Alcance

Aplicación

Compactación

La compactibilidad es la capacidad de la tierra para ser compactada mediante presión estática o compactación dinámica reduciendo así su volumen. Para obtener la compactación máxima el suelo debe tener un contenido específico de agua lo que se denomina contenido óptimo de agua lo que permite llevar a las partículas a un estado más denso durante la elaboración del muro de tierra.

La resistencia del suelo está directamente relacionada con su grado de compactación cuando es apisonado por un determinado esfuerzo. Para cada tipo de suelo y para cada esfuerzo de compactación existe una determinada humedad, denominada humedad óptima de compactación, en la cual ocurren las condiciones en que se puede obtener la mejor compactación, o sea, la mayor masa específica seca. En esta condición, el suelo también presenta menor porosidad, caracterizando así un material más durable y con más resistencia mecánica.

La humedad óptima de compactación, es decir la cantidad ideal de agua para lubricar todas las partículas del suelo sin ocupar los espacios entre ellos, dando lugar al aumento de la densidad del material cuando es compactado, es determinada en laboratorio a través de la medida de la masa específica del suelo en diferentes humedades, cuando el es compactado en el molde. Las masas específicas son representadas en un gráfico, en función de la humedad, y la máxima masa específica, obtenida en la curva, define la humedad óptima de compactación del suelo.

AAHSTO T180

Determina la relación entre el contenido de humedad y la densidad del suelo cuando es compactado en un molde de un tamaño dado con un mazo de 4,54 kg, el cual se deja caer desde una altura de 457mm. El método utilizado es el C, que aplica a mezclas de suelo que tienen un 30% o menos del material retenido en la malla de 19,0 mm. El material retenido en estas mallas es considerado como partículas con sobre tamaño (partículas gruesas). Si el objeto de ensayo contiene partículas con sobre tamaño, y el mismo se utiliza como control de compactación de la densidad de campo, se debe hacer una corrección de acuerdo con la norma T 224 para comparar la densidad total de campo con la densidad del objeto de ensayo compactado.

Los suelos colocados como rellenos de ingeniería (terraplenes, presas, relleno de fundaciones, bases de caminos) son compactados a un estado de densidad para obtener propiedades ingenieriles satisfactorias tales como, resistencia al cortante, compresibilidad o permeabilidad. También, fundaciones en suelos son frecuentemente compactadas para mejorar sus propiedades ingenieriles. Los ensayos de compactación de laboratorio suministran la base para la determinación del porcentaje de compactación y el contenido de agua necesario para alcanzar las propiedades ingenieriles requeridas, y para controlar en la construcción y asegurar que la compactación y el contenido de agua requeridos sean obtenidos.

Alcance

Aplicación

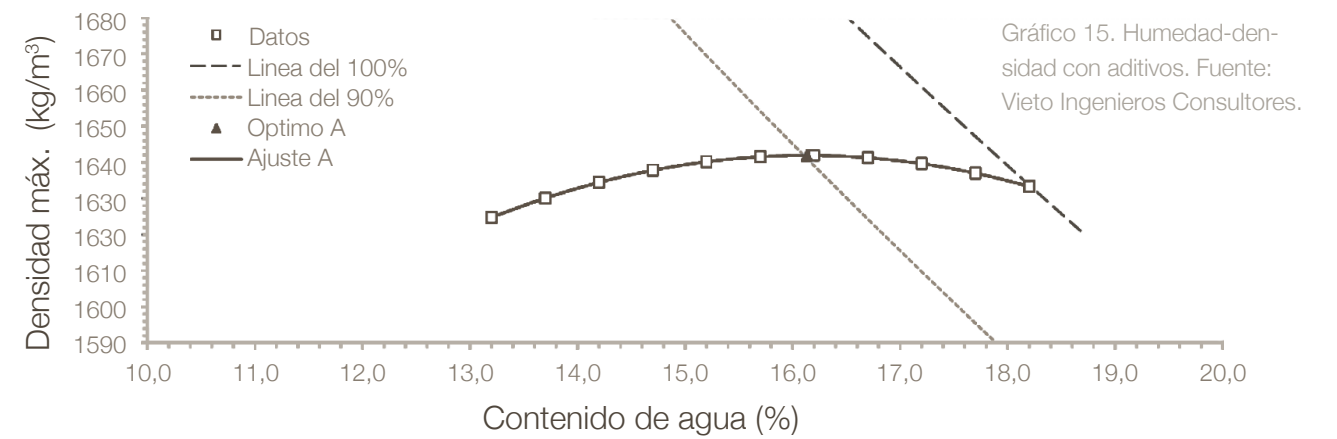
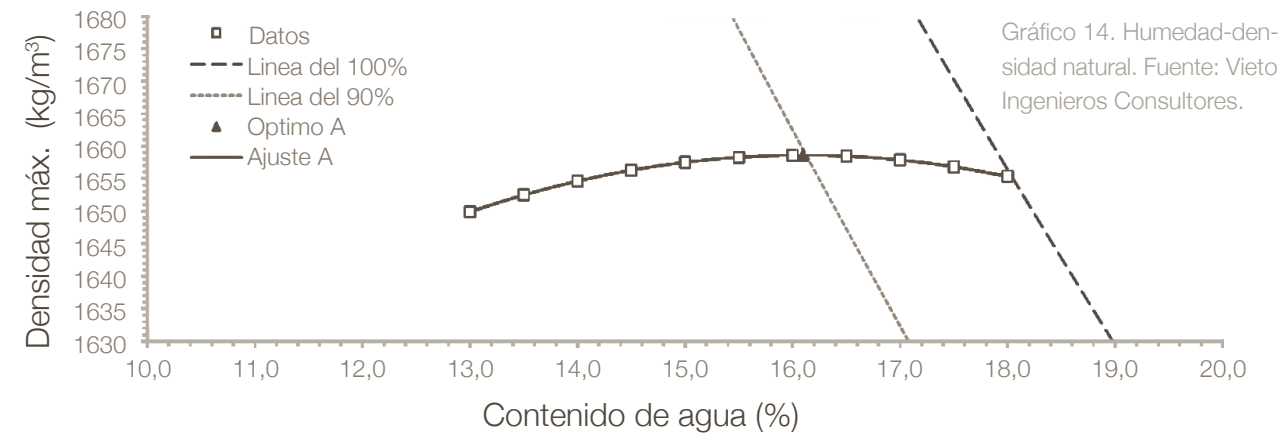
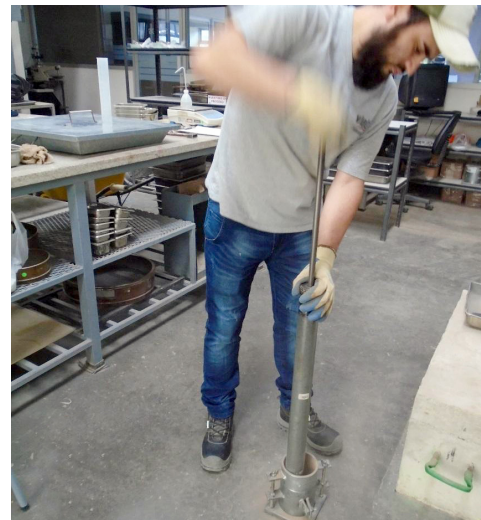
Procedimiento

Un suelo con un contenido de agua seleccionado se coloca en 5 capas, aproximadamente iguales, en un molde de dimensiones dadas, cada capa se compacta con 25 golpes con un mazo de 4,54 kg, el cual se deja caer de una distancia de 457 mm, sometiendo el suelo a un esfuerzo de compactación total de alrededor de 2700 kN-m/m³.

El resultado es la determinación de la densidad seca. El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de humedad, para establecer la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad del suelo.

Estos datos cuando se grafican presentan una relación curvilínea denominada la curva de compactación. Los valores del contenido de humedad óptimo y densidad seca máxima modificada son determinados a partir de la curva de compactación.

Imagen 39. Ejecución de prueba proctor. Fuente: Vieto Ingenieros Consultores.



La curva mas baja de densidad seca contra contenido de humedad óptimo se alcanza en ambas pruebas aproximadamente a un 16% de contenido de humedad, contrario al planteamiento del experimento. Lo importante de alcanzar la densidad máxima del material resulta un muro con menor porosidad, por tanto, una mayor resistencia contra las inclemencias del clima, y específicamente a la precipitación. Comparando ambas pruebas, se observa que con aditivos se logra aumentar, pero no de manera significativa la densidad, resultando del muro con mejor comportamiento, sin embargo, es importante resaltar que la cantidad de aditivos que fueron agregados durante la mezcla representa una cantidad baja, por tanto, aumentado el porcentaje en la cantidad de aditivos pueda mejorarse de manera significativa la comprensión.

Plasticidad

Según su grado de humedad, el suelo puede ser líquido, plástico o sólido. El aspecto y la consistencia de los suelos y, en particular de las arcillas presentes, varían de manera conforme la cantidad del agua que contiene.

La plasticidad del suelo y los límites de consistencia son determinados a través del límite de liquidez y plasticidad. Los ensayos de plasticidad son realizados solamente con la parte fina del suelo, representada por el material que pasa en el tamiz. El límite de liquidez es el grado de humedad determinado por las herramientas. El es constituido por una concha metálica unida a una manivela que la mueve, haciéndola caer sobre una base sólida, un cierto número de veces, hasta el cerramiento de 1 cm de la ranura estándar, hecha previamente en el suelo colocado en la concha. El límite de liquidez corresponde al tenor de humedad en que la ranura se cierra con 25 golpes. El límite de plasticidad es el grado de humedad necesario y suficiente para deslizar una porción de suelo humedecido sobre una placa de vidrio, hasta formar un pequeño cordón con 3 mm de diámetro y 12 a 15 cm de longitud. La diferencia entre los límites de liquidez y de plasticidad determina el índice de plasticidad.

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, entretanto, es únicamente dependiente de la cantidad de arcilla.

ASTM D4398

Este método cubre la determinación del límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de suelos. Los límites de consistencia de los suelos que han sido secados antes de la prueba pueden ser distintos a los obtenidos de muestras húmedas. Si los límites serán utilizados para correlacionar o estimar el comportamiento del suelo en estado natural no se debe permitir el secado inicial de las muestras. Esto se debe especificar en la solicitud. La composición y la concentración de sales solubles en el suelo, afecta los valores de los límites plástico y líquido, así como el contenido de agua del suelo (>.04). Se debe hacer una consideración especial en los suelos de ambientes marinos o con alto contenido de sales solubles.

Este ensayo se utiliza como parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano fino de los materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de suelos también se utilizan con otras características del suelo para correlacionar con comportamientos ingenieriles tales como compresibilidad, conductividad hidráulica (permeabilidad), compactibilidad, contracción - hinchamiento, y esfuerzo cortante. También permiten determinar características como resistencia al desgaste de las arcillas, el contenido de materia orgánica, entre otros.

Alcance

Aplicación

Procedimiento

El espécimen se procesa para quitar cualquier material retenido en el tamiz de 425 μm (No.40). El límite líquido es determinado ejecutando ensayos en los cuales se esparce una porción del espécimen en una copa de bronce, dividiéndola en dos con una herramienta que acanala y luego se permite que fluyan juntas, producto de los golpes causados en varias ocasiones por un dispositivo mecánico estándar. Para realizar, el límite líquido de puntos múltiples, método A, se requieren tres o más muestras en un rango de contenido de agua, en donde los datos de los ensayos son graficados o calculados para obtener una relación de la cual se determine el límite líquido. El límite plástico puede ser determinado presionando una pequeña porción del suelo plástico, mediante movimientos alternos circulares, hasta convertirlo en un cilindro de 3,2 mm de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduzca a un punto en el cual el cilindro se desmorone o se fracture y no se pueda hacer más largo presionando ni enrollando. El contenido de agua del suelo a este punto se reporta como el límite plástico. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.



Imagen 40. ejecución de de plasticidad. Fuente: Vieto Ingenieros Consultores.

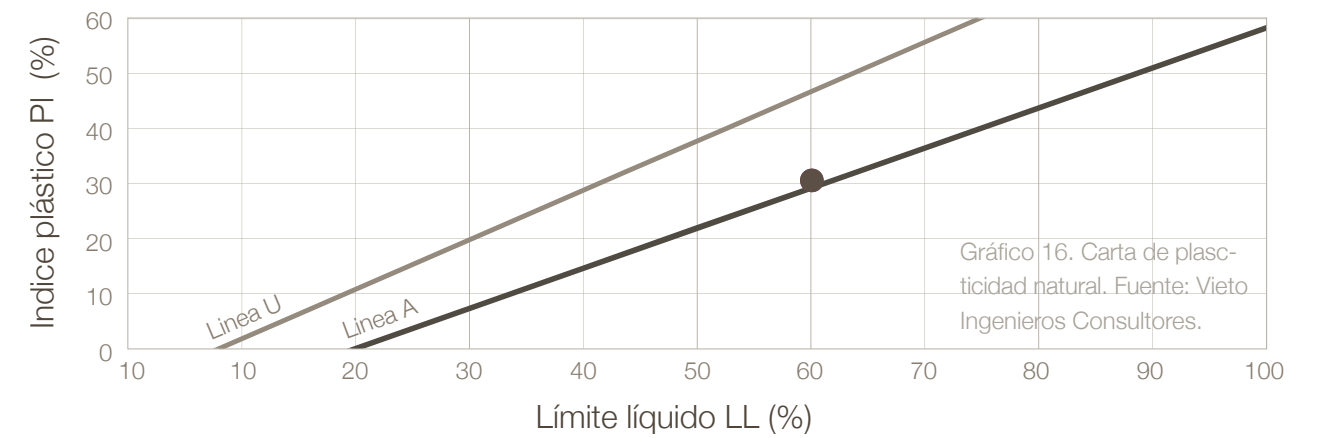


Gráfico 16. Carta de plasticidad natural. Fuente: Vieto Ingenieros Consultores.

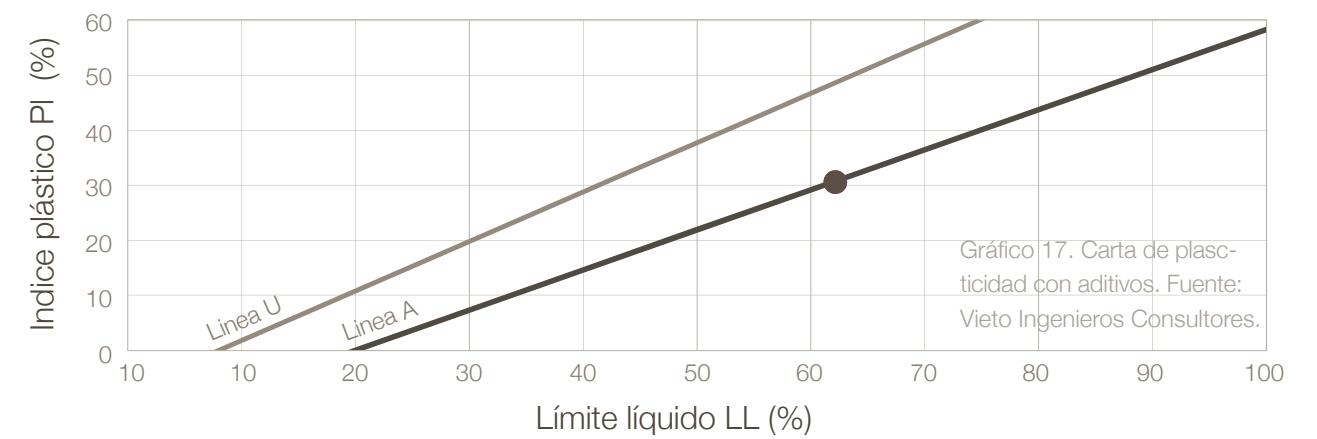


Gráfico 17. Carta de plasticidad con aditivos. Fuente: Vieto Ingenieros Consultores.

Los límites obtenidos durante las pruebas en el que el suelo puede existir en los cuatro estados de consistencia según su humedad, se observa mejoras entre 2 a 3 valores porcentuales en la mezcla con aditivos, comprobando que la resistencia de un muro expuesto ante condiciones de precipitación durante un periodo continuo es capaz de soportar mayor contenido de humedad antes de alcanzar el límite plástico, es decir, que el muro es capaz de conservar su volumen sin sufrir cambios, siendo estos un 29% para mezclas con condiciones naturales y un 32% para mezclas con aditivos. Una vez superado este límite sufre modificaciones hasta alcanzar el límite líquido que es cuando ya vuelve a adquirir cualidades para volver a ser moldeado.

La construcción con tierra presenta un modelo sencillo y ecológico que no exige la utilización de materiales elaborados, ya que la tierra utilizada para construir la tapia procede del mismo lugar donde se realiza la construcción. Las técnicas de construcción y materiales desarrollados en el último siglo permiten la utilización de la tierra en una amplia variedad de soluciones constructivas que, si bien tienen su origen en la construcción tradicional, se alejan de ésta en cuanto a sus criterios de utilización y prestaciones

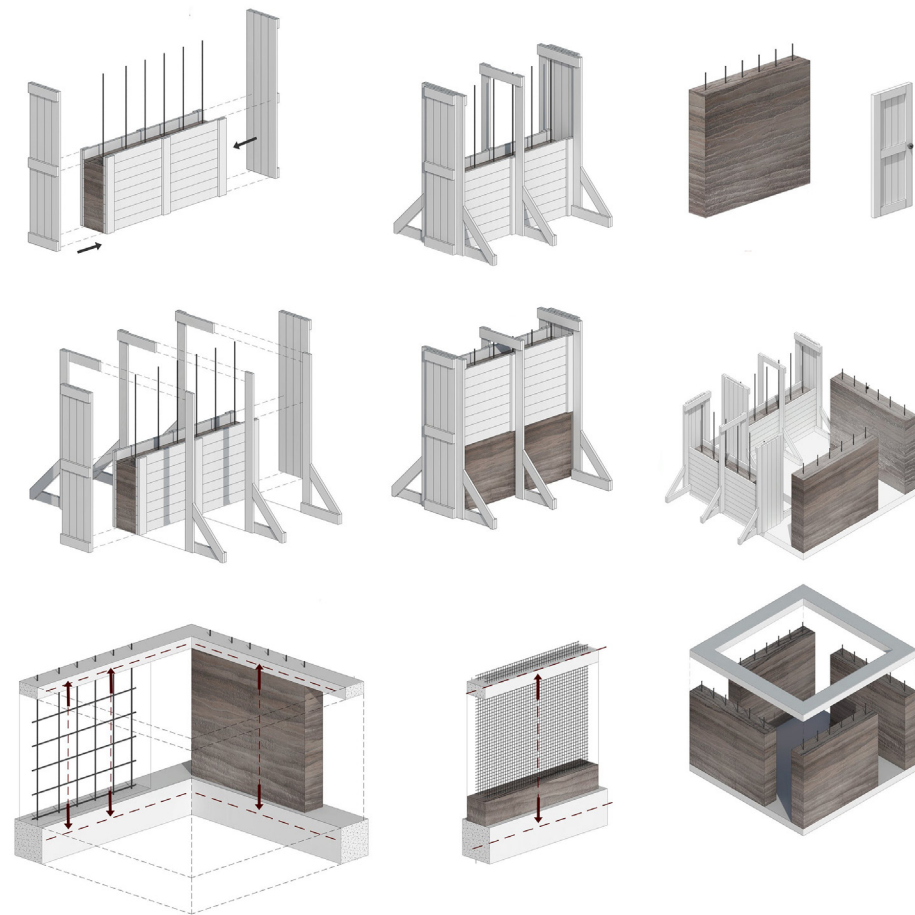


Imagen 41. Diagramas de construcción en tierra. Fuente: Plataforma arquitectura.

Diseño modular

El diseño en tapia está relacionado con el tamaño de los moldes que siempre deben ser compatibles con la modulación de las paredes, pudiendo haber cierta flexibilidad en función del diseño del propio molde, que permita la construcción de paredes de diferentes tamaños, logrando un mejor rendimiento del sistema. Los moldes representan un costo significativo en la construcción y tienen relación directa con la productividad debido al gran número de repeticiones de las acciones de montar y desmontar.

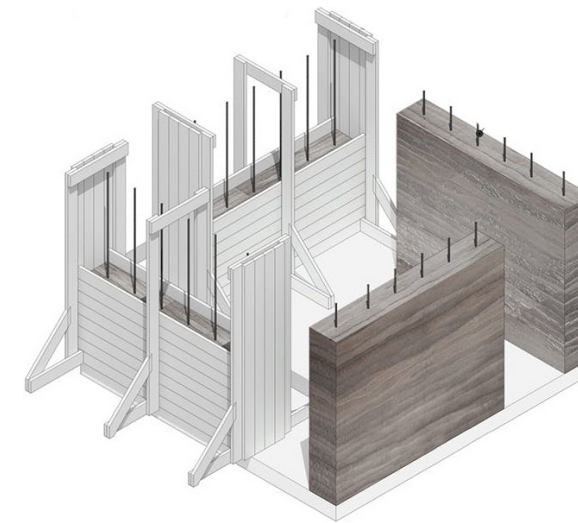


Imagen 42. Diagramas de diseño modular en tierra. Fuente: Plataforma arquitectura.

Sismorresistencia

Al diseñar edificios para Costa Rica, propensa a sismos, se debe considerar que las fuerzas sísmicas que actúan sobre el edificio sean proporcionales a la masa y la deflexión se incremente significativamente sobre la altura del edificio. Por eso al diseñar edificios de dos pisos se aconseja que la planta baja sea sólida mientras que el alta sea ligera. Las razones por las que los muros por lo general se derrumban es porque no existe una viga de amarre. Asimismo, las aberturas de puertas y ventanas causan el debilitamiento del muro.

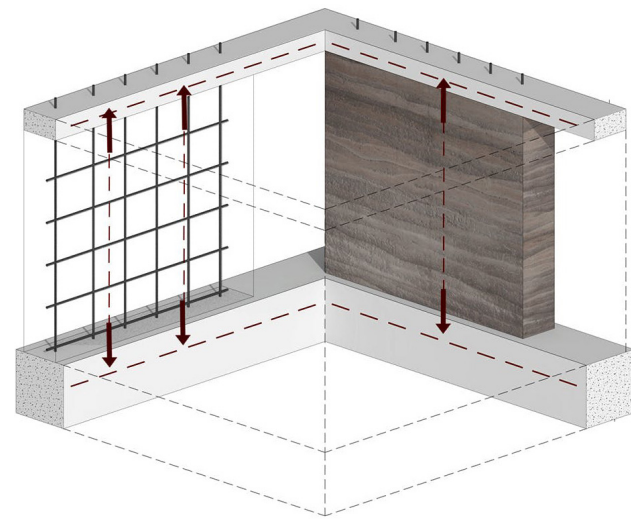


Imagen 43. Diagrama de refuerzo en muros en tierra. Fuente: Plataforma arquitectura.

Consolidación

Uno de los métodos para conseguir una protección adicional, endurecimiento y mayor resistencia frente a la erosión, dejando a la vista la apariencia de la tierra, consiste en el tratamiento que se realiza en la mezcla vertiendo la resina acrílica que logra una máxima adherencia entre el mismo debido a que forma parte intrínseca del muro, con la ventaja de que no se pierde la capacidad de transpiración del muro.



Imagen 44. Impermeabilización de muro durante la mezcla. Fuente: propia.

Protección

Es necesario tener cuidado con la penetración de agua en las paredes de tapia. Se deben prever elementos constructivos para proteger la parte superior de las paredes como los aleros, la impermeabilización de las cimentaciones o las diversas maneras de evitar el contacto directo de la pared con el suelo para proteger su base. Dependiendo de los índices de precipitaciones en la región, será necesario aplicar repelente para proteger sus superficies.



Imagen 45. Extensión de aleros y base en concreto para protección de muros en tierra. Fuente: propia.

Cerramiento

La tapia se caracteriza principalmente como elemento estructural moldeado in situ con elevada resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción. La estabilidad de las paredes se obtiene mediante la definición de dimensiones apropiadas, el uso de refuerzos, tales como contrafuertes, o la asociación a otros sistemas estructurales. La tipología estructural marcos con columnas y vigas de concreto y muros de contención de concreto son ideales para que la masa de tierra compactada quede embebida.



Imagen 46. Uso del tapial como cerramiento en primer nivel. Fuente: Jones Studio.

Reutilización

Los muros en tierra se pueden volver a utilizar ilimitadamente. Solo necesita ser triturado y humedecido con agua para ser reutilizado. El barro en comparación con otros materiales no será nunca un escombros que contamine el medio ambiente. Inclusive si se desea demoler y debido a ser un material estabilizado, la proporción de estabilizantes (5-10%) es suficientemente baja como para no suponer ningún riesgo para ningún entorno natural.



Imagen 47. Demolición de muro en tierra. Fuente: propia.

Estética

Al exterior, hay que contar con una erosión natural calculada del material tapial. A simple vista no es posible detectar diferencias de erosión, debido a la variabilidad de colores y viveza de su acabado. En este sentido el tapial tiene un buen envejecimiento. Cabe resaltar especialmente la nobleza del color natural del tapial. Sus características le permiten, en especial su autorenovación, permanecer con la superficie exterior libre del smog atmosférico.



Imagen 48. Muro en tapial con diferentes tonalidades. Fuente: Rammed Earth Works.

Conclusiones

Mediante la realización de las pruebas de laboratorio logra comprobar que con la utilización de aditivos se mejora las características físicas. La realización de correcciones granulométricas se debe siempre realizar para obtener un material de construcción equilibrado que cuente al menos con una proporción balanceada de las diferentes texturas que se pueden obtener de la tierra, pues a como se muestra en el análisis granulométrico, la tierra utilizada cuenta con una composición aproximadamente 84 % arcilla, careciendo a largo de partículas medias que aporten estabilidad a la mezcla.

Con el aumento de la densidad del material, podemos disminuir durante el proceso de compactación los micro espacios de aire que quedan en la fabricación de los muros, esto representa una menor porosidad, consecuentemente esto implica un incrementando en la resistencia contra los factores erosivos, siendo un factor clave para su utilización expuesta en exteriores en nuestro país, pues contamos con una estación lluviosa, con mañanas soleadas y tardes lluviosas. Es importante resaltar, que los aditivos logran aumentar los límites de cantidad de agua para alcanzar los límites plástico y líquido.

Se exponen las exigencias de diseño para la creación de muros en tierra, sin embargo, es importante destacar, que bajo las normativas de nuestro país que prohíben la construcción con tierra, esta se debe utilizar aprovechando sus propiedades sostenibles en cerramientos o enchapes.



Imagen 49. Muros prefabricados en tapial. Fuente: Rammed Earth Works.

Conclusiones
Recomendaciones

05

Cada material resuelve sus dificultades o limitaciones técnicas mediante el diseño apropiado, así pues, no es lógico adaptar las soluciones formales de otros sistemas a las técnicas de construcción con tierra, aunque puedan tener elementos en común. El entendimiento de los puntos fuertes y débiles del material nos llevará a una concepción apropiada. En Costa Rica contamos con la materia prima necesaria para la construcción terrea que, a pesar de contar con suelos en su mayoría arcillosos, no representa un obstáculo para la realización de correcciones en su composición y darle las características necesarias para su uso. Se recomienda realizar pruebas de laboratorio para cada una de las tipologías de suelo, que a pesar de que dentro de las mismas tipologías su composición no es homogénea, constituye un primer paso hacia una estandarización en la comprensión de la materia prima en nuestro país.

La correcta valorización de las técnicas terreas como material ecológico no es generalizado aún, pero mediante la toma de conciencia del medio ambiente por un creciente sector de la población, se impulsa este tipo de construcción con planteamientos contemporáneos que mejoran las perspectivas de su competitividad económica y técnica, por lo que es necesario divulgar los conocimientos de estas. Hay que comprender que evolucionar una técnica no significa necesariamente olvidar la tradición este implica mas bien superarla. A pesar de que en este trabajo se profundizo sobre el sistema tapial no significa que esta sea la única respuesta factible al escenario costarricense. Se recomienda analizar toda la gama de técnicas de construcción en tierra para comprender los avances que se han realizado y poder interpolar las mejoras ejecutadas en cada una de las técnicas, generando un gran portafolio de respuestas ante las necesidades de la sociedad.

Las variables de sostenibilidad son necesarias en toda edificación y la tierra no es la excepción. Las condiciones arquitectónicas propias de la construcción en tierra son incomparables con respecto a los otros materiales debido al lenguaje que el material ofrece, pues proporciona múltiples opciones de acabado y diferentes posibilidades de diseño que, bien entendidas y aplicadas, proporcionan posibilidades creativas de diseño

desde el punto de vista técnico y estético. Por esto, se recomienda la incorporación de Costa Rica en las redes internacionales de la construcción en tierra, así como hacer el diagnostico de las ciudades de nuestro país para registrar las experiencias y acelerar el proceso de utilización de este material y de la creación de la legislación necesaria para utilizarlo.

Los procedimientos constructivos en tierra son simples aún para personas que nunca realizaron tareas de construcción, lo que lo hace apto para la autoconstrucción. Sin embargo, la utilización de sistemas modernos en proyectos constructivos, especialmente en los países desarrollados con fundamentación científico-técnica, influyen con su ejemplo a otros países, perspectivas de su acometividad económica, que en muchos casos no logra que la construcción en tierra con carácter científico-técnico no se limite a una nueva arquitectura de lujo. Por esto, se recomienda promover el interés en instituciones y profesionales para lograr alcanzar la capacitación del personal a un nivel técnico para el uso del material y de esta manera contar a un mediano plazo con un material y estrategia constructiva económicamente más competitiva.

Los ensayos aplicados mostraron como mediante aditivos se pueden mejorar las características físicas del material, por lo que el camino de la construcción con tierra en nuestro país pasa a trabajar en el campo de la investigación, en la que se pueda ver cuales aditivos logran mejorar la resistencia a los procesos erosivos, pero que al mismo tiempo logra conservar las características ecológicas de la tierra como material. Se recomienda homogeneizar los ensayos aplicados a las construcciones en tierra para poder realizar su adecuado análisis, puesto que la mayoría de los ensayos se toman para el estudio de otros materiales constructivos.

Si es posible en nuestro contexto la construcción en tierra haciendo uso de esta como cerramiento o enchape desde la regulación actual, por lo que el uso de la tierra pasa por el establecimiento de una normativa país, así como de controles pertinentes de calidad, no solo del material sino también de su proceso ejecución, que permita finalmente incorporar este material en la práctica constructiva habitual de cualquier profesional.

- Alfaro, O. S. (2010). Costa Rica. Guía de Arquitectura y Paisaje. San José: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.
- Bahamondez, M., & Muñoz, E. (2010). Iberoamérica, arquitectura de tierra y desastres naturales. *Arquitectura en tierra en América Latina*, 25-41.
- Barrionuevo, R. (2011). Investigación tecnológica aplicada: Domocaña. *Informes de la Construcción*, 51-58.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 5-20.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sísmo resistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 41-50.
- Castilla, F. J. (2011). Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. *Informes de la Construcción*, 143-152.
- Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 159-169.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2013). Código Sísmico de Costa Rica 2010. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Font, F., & Hidalgo, P. (2011). La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos. *Informes de la Construcción*, 21-34.
- Garzón, L., & Martins, C. (2007). Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. *Investigar, formar, capacitar y transferir*, 324-335.
- Guerrero, F. (2010). Visión general de la conservación del patrimonio construido en tierra en Iberoamérica. *Arquitectura en tierra en América Latina*, 5-24.
- Guerrero, L. (2007). Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva*, 182-201.
- Guillaud, H. (2011). Domaine de la Terre en Villefontaine (Isère, France): balance de una experiencia ejemplar. *Informes de la Construcción*, 171-174.
- Hall, M., & Lindsay, R. (2012). *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications*. Philadelphia: Woodhead Publishing.
- Heathcote, K. (2011). El comportamiento térmico de los edificios de tierra. *Informes de la Construcción*, 117-126.
- Lengen, J. (2011). *Manual del arquitecto descalzo*. México Distrito Federal: Paz México.
- Mag, A. v., & Rauch, M. (2011). Paredes de tapial y su industrialización (encofrados y sistemas de compactación). *Informes de la Construcción*, 35-40.
- Maldonado, L., & Vela-Cossío, F. (2011). El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española. *Informes de la Construcción*, 71-80.
- Mileto, C., Vegas, F., & López, M. (2011). Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de la torre Bofilla de Bétera (Valencia). *Informes de la Construcción*, 81-96.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José: Calderón y Alvarado.
- Minke, G. (2006). *Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Berlín: Birkhäuser – Publishers for Architecture.
- Minke, G. (2011). Retracción, abrasión, erosión, y absorción de revoques de tierra. *Informes de la Construcción*, 153-158.
- Neila, J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.
- Neves, C., Borges, O., Rotondaro, R., Aguirre, R., Milani, A., Vieira, M., . . . Guerrero, L. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Bauru: Red Iberoamericana PROTERRA.
- Poole, G., Porto, S., Segre, R., Stagno, B., Mosquera, G., Tzonis, A., . . .

Beng, T. H. (2008). I Encuentro de Arquitectura y Urbanismo Tropical. San José: Instituto de arquitectura tropical.

Programa Estado de la Nación. (2016). Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación. San José.

Quesada, C. O. (2005). Historia de la ingeniería en Costa Rica. San José: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

Rodríguez, M. A., Monteagudo, I., Saroza, B., Nolasco, P., & Castro, Y. (2011). Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de intervención. *Informes de la Construcción*, 97-106.

Rotandero, R. (2007). Tendencias y desafíos. *Arquitectura de tierra contemporánea*, 342-353.

Schroeder, H. (2011). La transferencia de humedad y el cambio en la resistencia durante la construcción de edificios de tierra. *Informes de la Construcción*, 107-116.

Sosa, M. (2010). Documentación y registros patrimoniales en arquitectura de tierra. *Arquitectura en tierra en América Latina*, 61-74.

Varum, H., Figueredo, A., Silveira, D., Martins, T., & Costa, A. (2011). Investigaciones realizadas en la Universidad de Aveiro sobre caracterización mecánica de las construcciones existentes en adobe en Portugal y propuestas de rehabilitación y refuerzo. *Resultados alcanzados. Informes de la Construcción*, 127-142.

Watson, L., & McCabe, K. (2011). La técnica constructiva del cob. *Pasado, presente y futuro. Informes de la Construcción*, 59-70.



Imagen 50. Proceso de construcción de muro en tabial. Fuente: propia.



1

PRÁCTICA DE VINCULACIÓN / **JULIO NUNEZ / RAMMED
EARTH SOLAR HOMES INC / QUENTIN BRANCH /
SEBASTIAN OROZCO / 14 FEBRERO 2017**

2

INDICE

Introducción	4
Objetivos	5
Desarrollo	6
Estilo de vida	7
Construcciones locales.....	8
Análisis de sitio	10
Diseño y planos	12
Trazado	20
Tramitología	22
Workshop	23
Conclusiones	25
Certificado	26
Anexos	27

3

INTRODUCCIÓN

La razón que motiva la pasantía en Rammed Earth Solar Homes INC , es el conocimiento y experiencia que dicha empresa posee sobre la construcción en tierra a partir de procesos contemporáneos, lo cual pretendo estudiar para un futuro aplicarlo en una propuesta de tesis optando por el grado de Licenciatura. Por tanto, el presente documento demuestra el trabajo desarrollado a lo largo de la pasantía demostrando la puesta en practica de conocimientos y destrezas adquiridas al momento de optar por grado de bachiller en Arquitectura.

4

OBJETIVOS

- Analizar el estilo de vida de los habitantes de Oracle, Arizona, con el fin de comprender el día a día.
- Visitar construcciones en tierra en el estado de Arizona para observar los diferentes usos que se le da contemporáneamente.
- Realizar un análisis de sitio y así poder determinar las fortalezas del predio.
- Diseñar propuestas arquitectónicas para la construir una casa de huéspedes.
- Trazar la propuesta y así observar su ubicación en el predio.
- Comprender el sistema de tramitación con la finalidad de generar planos que puedan ser procesados.
- Generar un taller en tierra con el fin de poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

5

DESARROLLO

El proyecto asignado por parte de Rammed Earth and Solar Homes INC. fue el diseño de un Guest quarters para poder tener un anexo al master House. Antes de poder empezar el proceso de diseño es deber del arquitecto, al exponerse a un contexto desconocido, reconocer el sitio para poder comprender la cultura y poder así realizar un diseño idóneo para el sitio, asimismo, exponerse aun método constructivo totalmente ajeno al conocimiento personal.

6

Estilo de vida

La primera asignación por parte de la empresa para poder comprender la cultura estadounidense, fue estar inmerso en el estilo de vida de Oracle. Se asistió a actividades sociales permitiendo obtener diferentes puntos de vista de locales. Se pudo identificar tres tipos de usuarios que habitan la zona, los cuales se pueden dividir en 3 categorías artistas, jubilados y turistas. Asimismo, estas actividades introductoras permite conocer arquitectos de proyectos importantes locales, como Phil Hawes diseñador del proyecto Biosphere 2 y Anthony Floyd encargado del Green Building Program de Arizona. Oracle Historical Society permite obtener el conocimiento necesario del asentamiento del pueblo como tal, hasta lo que la mantiene al día de hoy. En síntesis el sitio se caracteriza por ser un lugar tranquilo, ideal para personas que quieren alejarse del gran movimiento de la ciudad, lo cual se puede entender aun mas con las reglamentaciones existentes que protegen el cielo nocturno, lo cual prohíbe la iluminación excesiva.



7

Construcción local

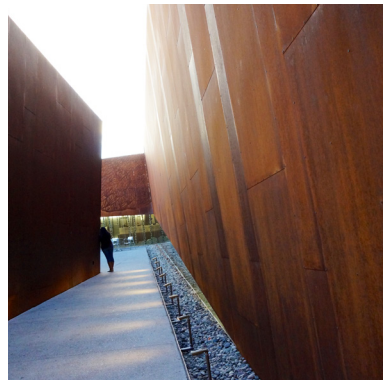
Para entender la construcción en tierra se partió desde las experiencias de Quentin Branch hasta llegar a comprenderla de manera técnica. Se inicio un recorrido a construcciones existentes en el Estado de Arizona, empezando con el Phoenix Zoo mostrando toda la capacidad técnica de la tierra que incluye paredes curvas con reforzamiento en concreto.



Univision Network el cual presenta desafíos técnicos por las grandes luces que se indicaron en planos que, no eran apropiadas para el sistema constructivo. Cosanti Originals y Arcosanti de Paolo Solari el cual las concibió bajo el concepto de arcolgia (arquitectura y ecología) para describir edificaciones compactas que se extenderían verticalmente en un mismo espacio en lugar de horizontalmente a lo largo del piso, donde se entiende de manera clara la armonía existente entre la construcción y el entorno. Otra tipologías le sirvieron para entender la importancia que tiene para el estado en conservar un landscape homogéneo en el cual las edificaciones se camuflan al tener colores tierra como Arabian

8

Library, Scottsdale's Museum of the West y South Mountain Community Library. Burton Central Library expone maneras de como se puede aplicar estrategias pasivas adecuadas para la zona. Taliesin West diseñado por Frank Lloyd Wright como parte de la escuela de arquitectura de invierno de la Fundación Frank Lloyd Wright, la cual logra entender las condiciones extremas del clima. La casa del arquitecto Eddie Jones es una muestra de como se puede llegar hacer el uso de manera mas contemporánea para la construcción de viviendas. Thompson Peak Parkway muestra la integración entre la parte artística de Jone Baron y el sistema tapial.



9

Análisis de sitio

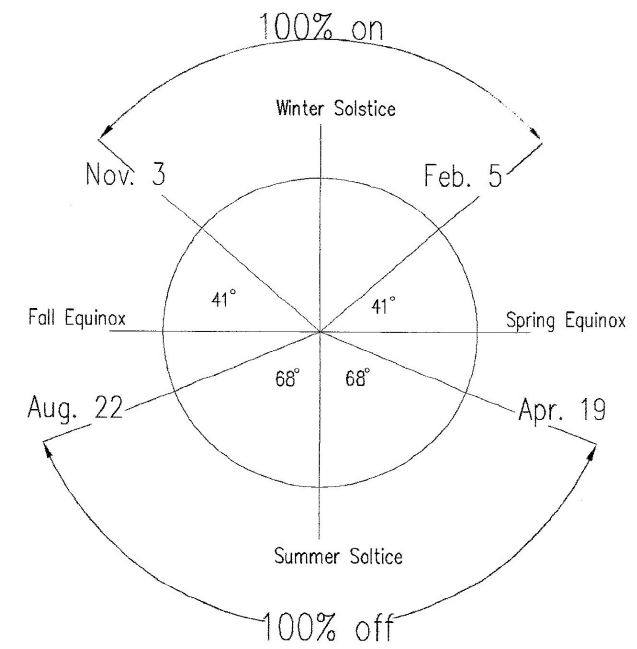
En la primera fase del análisis del sitio, se inicio tomando durante cada hora los ángulos solares para poder determinar como funciona con exactitud el movimiento solar durante la época de invierno observando desde el emplazamiento como obtener estrategias pasivas, lo cual es necesario obtener toda la energía solar durante esta época para cargar térmicamente la casa y aprovechar estas ganancias durante la noche, sin embrago es necesario durante época de verano protegerse lo mayor posible.

El predio el cual se desarrolla el proyecto cuenta con zonas para la agricultura, avicultura, almacenamiento (bodegas y maquinarias), y recreación (piscina). Durante la primera semana se inicio con un conjunto de actividades y conocimientos destinados a cultivar la tierra y técnicas relacionadas con la cría de las aves y el aprovechamiento de sus productos, con la finalidad de poder comprender la diferencia entre los diferentes tipos de tierra y aditivos necesarios.



10

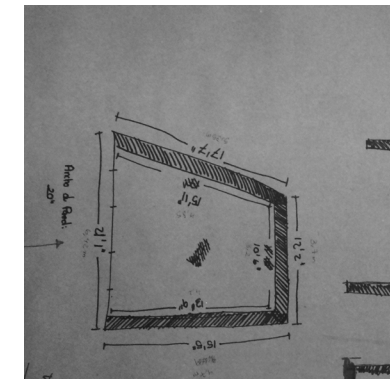
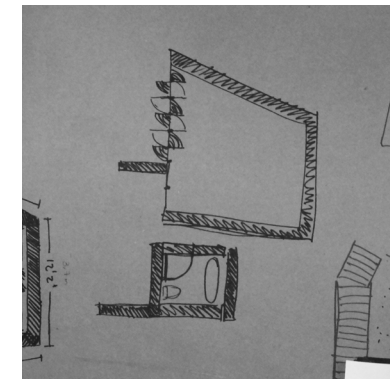
Globe, AZ Solar Gain Chart



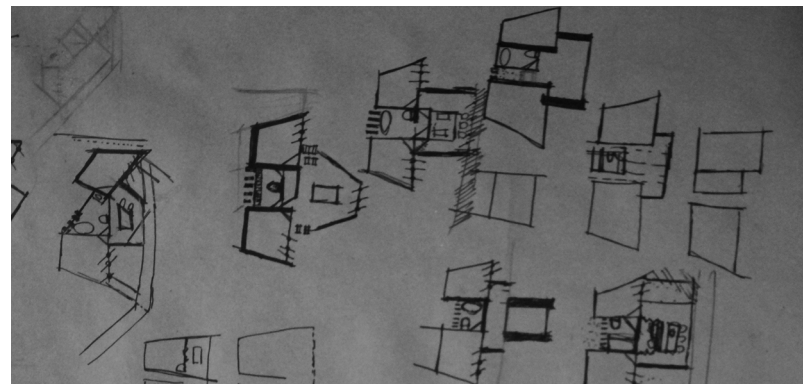
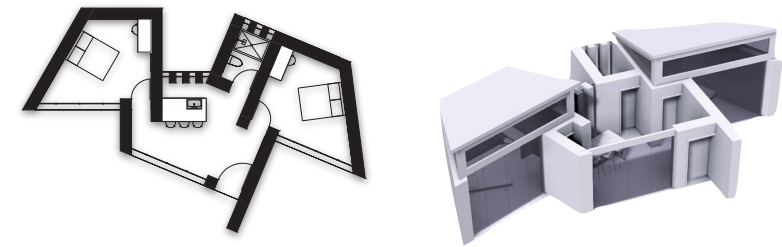
11

Diseño y planos

Para el diseño del guest quarters el cliente pidió tres propuestas, la primera incluye conservar una estructura existente que sirvió como el primer alojamiento de los clientes, por tanto existe una situación sentimental con dicha estructura, la segunda conserva la misma estructura, sin embargo, implica duplicar dicha estructura para crear un conjunto que comparta los espacios públicos, y la ultima, la cual se demolería dicha estructura y levantar una completamente nueva. Los requisitos para dichas propuestas tenían que contemplar una cocineta (cocina esta prohibido por reglamentación), dos habitaciones y cada uno con su baño propio, teniendo que crear un tanque séptico ya que el existente esta en su capacidad máxima. Asimismo, el cliente especificó algunos de los materiales que quería usar como el tin ceiling y algunas secciones de maderas. Es necesario mencionar que el cliente al ser dueño de la empresa constructora, tiende a conservar materiales en muchos casos nuevos sobrantes de otras construcciones o de demoliciones realizadas, lo cual es importante hacer uso de ellos.



12

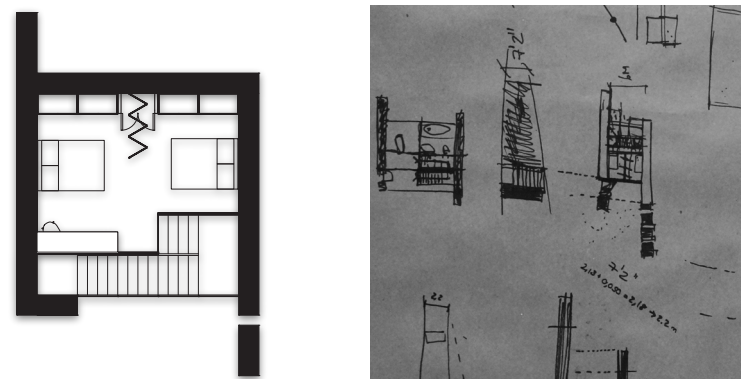
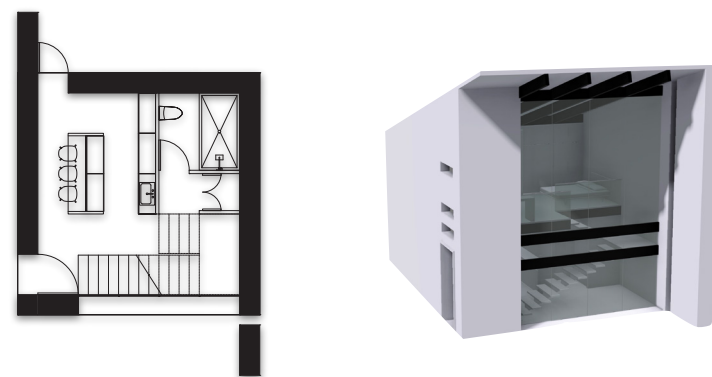
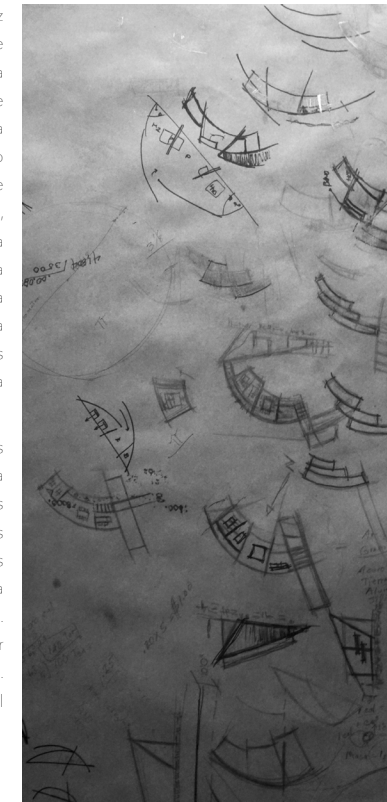


13

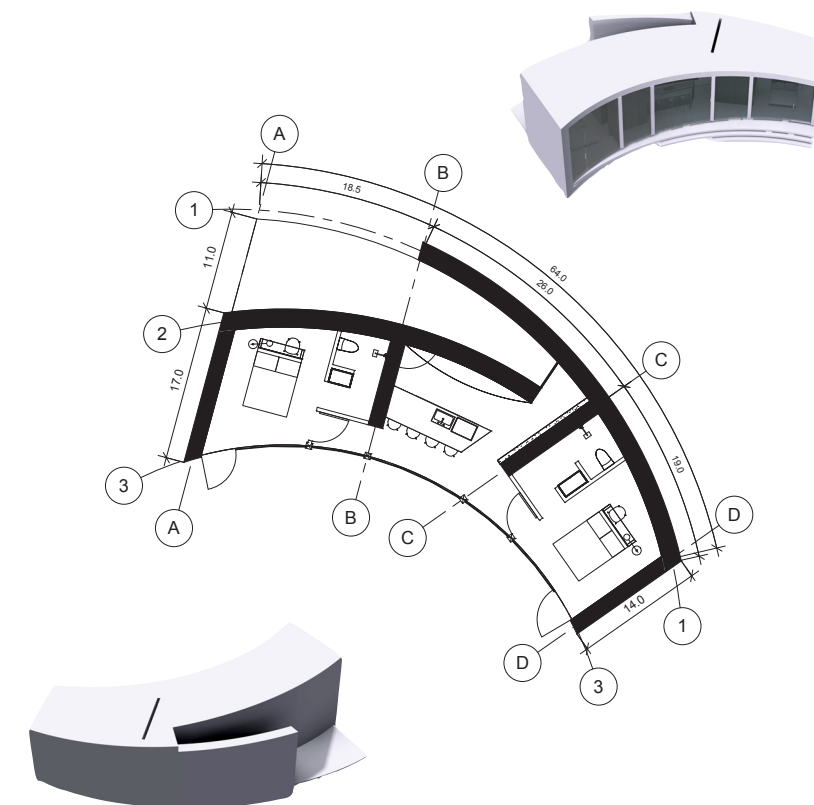
La propuesta final se retomó el concepto generatriz utilizado en el diseño de la master house, pero que de acuerdo el cliente no quedó plasmado en la ejecución de la obra ya realizada, ya que esta fue diseñada al mismo tiempo de la construcción. Esta inspirada en el movimiento orgánico del terreno, lo cual genera un aposento curvo que acoge. Se aprovecha al máximo la orientación de fachadas, especialmente la cara sur de para obtener toda la ganancia solar posible, colocando todo el programa en esta fachada. En la fachada norte se deja la entrada la cual se va cerrando resaltando la importancia de la tierra como material. Las laterales se conservan en tapial para poder generar una mayor resistencia en planta.

Se define en conjunto con el contratista los detalles constructivos que se deben realizar con la construcción en tierra, asimismo, el comprender las diferentes protecciones que ocupa las edificaciones durante todo el año juntas, entre diferentes materiales y conocer las propiedades en cuanto a diseño hasta donde puede llegar el uso de la tierra. Se visita con el cliente Oracle State Park para poder ver materiales locales que pueden ser usados. El ing. Rocky Vanwinkiln explica como debe funcionar el sistema séptico para el nuevo diseño.

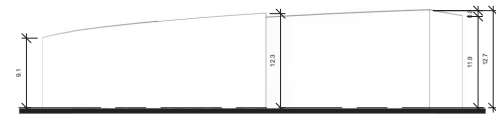
15



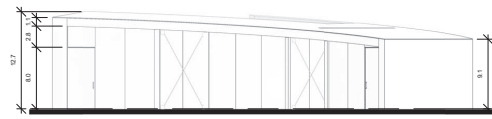
14



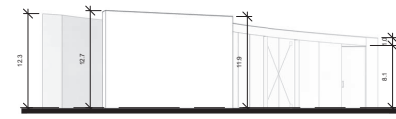
16



NORTH ELEVATION
T=10'0"



SOUTH ELEVATION
T=10'0"



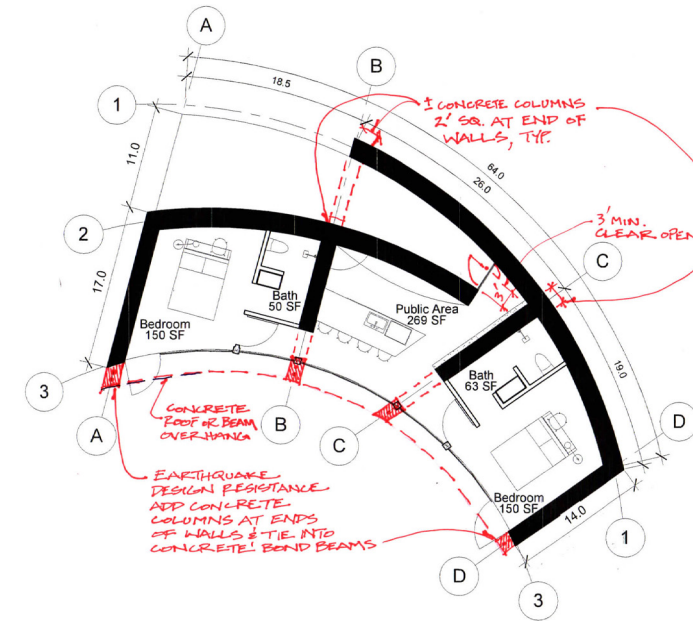
WEST ELEVATION
T=10'0"



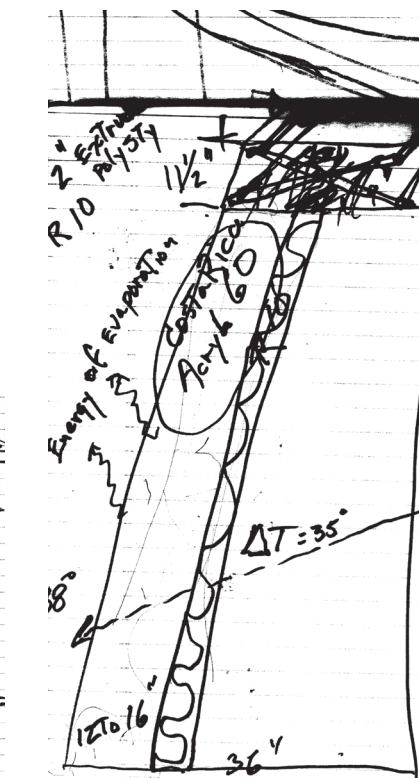
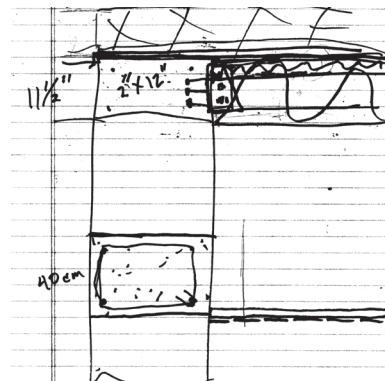
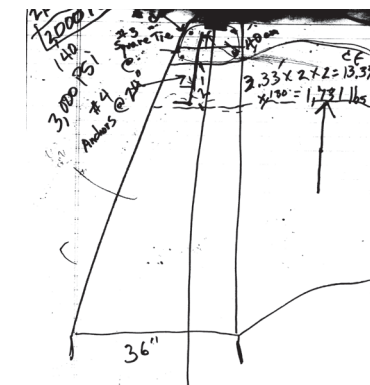
EAST ELEVATION
T=10'0"

17

Al no utilizar este tipo de sistemas constructivos en Costa Rica, se envía el diseño al arquitecto Toby Branch, el cual con su ingeniero de confianza, realizan algunas indicaciones de como poder construir el mismo diseño para un país sísmico, recomendando utilizar columnas de concreto en los extremos de la paredes hechas en tierra.



19



18

Trazado

Para la ubicación de la nueva edificación fue necesario realizar el levantamiento del solar para poder determinar la ubicación correcta de la nueva estructura, también para poder comprender el conjunto y diseñar la nueva estructura en armonía con las construcciones previas, durante el levantamiento se tomaron decisiones de vegetación a conservar.

Con el fin de entender el dimensionamiento del diseño se realiza el trazado en la ubicación exacta en el terreno, observando junto con el cliente si este cumple con las expectativas. Al realizar este ejercicio, el cliente solicita un diseño básico para un mater plan a 10 años para el conjunto del predio.



20

CONCLUSIÓN

Con la finalización de la practica laboral logré conseguir los conocimiento prácticos acerca del sistema tapial necesarios para la realización de la tesis para el grado de licenciatura. Este acercamiento permite de una forma integral unificar los conocimientos adquiridos en la Universidad. Con la practica finalizada y gracias a la ayuda de Quentin Branch se obtiene los requerimientos en cuanto a diseño para la construcción en tierra, y asimismo, experimentar antes de seguir una receta.

25



RAMMED EARTH
Solar Homes Inc.
PO Box 654, Oracle AZ 85623
Tel. 520.896.3393
www.rammedearthhomes.com ROC064669 B

Certificate of Completion

BE IT KNOWN THAT JULIO NUNEZ,
DURING AN INTERNSHIP FROM DEC. 31, 2016 TO JAN. 30, 2017,
UNDER THE SUPERVISION
OF MASTER RAMMED EARTH BUILDER QUENTIN BRANCH,
SUCCESSFULLY COMPLETED 250 HOURS
OF THE STUDY AND FABRICATION
OF RAMMED EARTH PASSIVE-SOLAR HOMES.

Quentin Branch 1-30-17

26

INFORME DE ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG Y RELACIÓN HUMEDAD DENSIDAD (Los resultados se refieren solamente a los especímenes ensayados)

Laboratorio: Vieto, Central
Informe No.: 18-STL-0601-4273

Ubicado en: San Luis, Heredia.
Fecha: noviembre 12, 2018

Información del Cliente

Señor: Rosalba Rojas
Cliente: INDUSTRIAS BENDIG
Del Dep Las Gravilias, Desamparados 400 este y 500 sur
Dirección del cliente:
Teléfono: 2219-45,45

Código: 4273
Cotización: 18-CO-0565
Orden de Compra: -----

Información de los objetos de ensayos

Proyecto: Proyecto de Graduación

Lugar de muestreo y fecha: No indicado el día 6/11/2018, San José por Paulo Nuñez.

Plan de muestreo según orden de Trabajo: 18-STL-0601-4273

Descripción y condición del objeto de ensayo:

Se aportaron cuatro sacos de arcilla de alta plasticidad color café oscuro (CH). Material ingresado al laboratorio para ensayos de análisis granulométrico, límites de Atterberg y relación humedad-densidad.

Fecha de recepción del objeto a ensayo en el laboratorio: 06/11/2018

Fecha de realización del ensayo: Inicio: 08/11/2018 Final: 12/11/2018

Métodos de ensayo utilizados

Método estándar para determinación de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad [INS-L-043 \(AASHTO T 89 y T 90, ASTM D4318\)*](#)

Relación humedad densidad de suelos usando el mazo de 4,54 kg y caída de 457 mm. [INS-L-048 \(AASHTO T 180\)*](#)



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación N°: LE-023
Acreditado a partir de: 26.08.2005
Alcance disponible en www.eca.or.cr

* Ensayo acreditado, ver alcance en www.eca.or.cr ** Ensayo no acreditado.

Documento Propiedad intelectual de Vieto & Asociados, S.A. Prohibida su reproducción no autorizada

tel.:(506)2268-8297* info@vieto.com * www.vieto.com

Pág. 1 de 3 de 18-STL-0601-4273

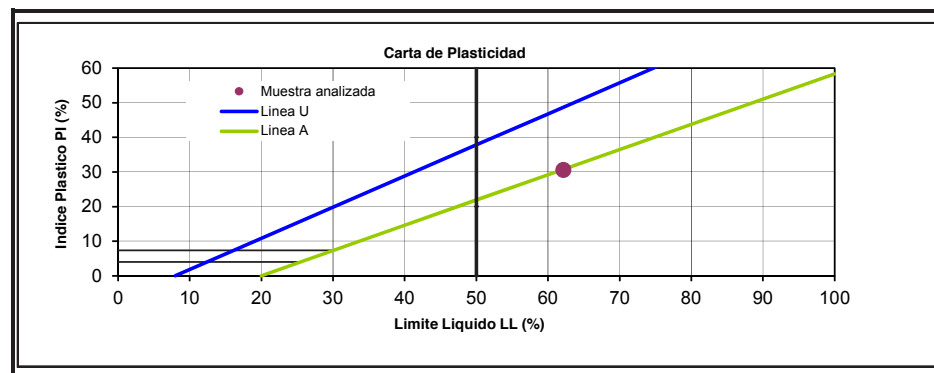
Resultados de ensayos

Método estándar para determinación del límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad en suelos INS-L-043 (AASHTO T 89, AASHTO T 90, ASTM D4318)

Método A

Condición de muestra: Premoldeada

Descripción del material(objeto de ensayo): Arcilla de alta plasticidad dosificada con 10% de cemento blanco y 10% de Acryl 60



Límite de Atterberg	
Límite líquido	62
Límite plástico	32
Índice plástico	31

NP: No plástico
NA: No aplica

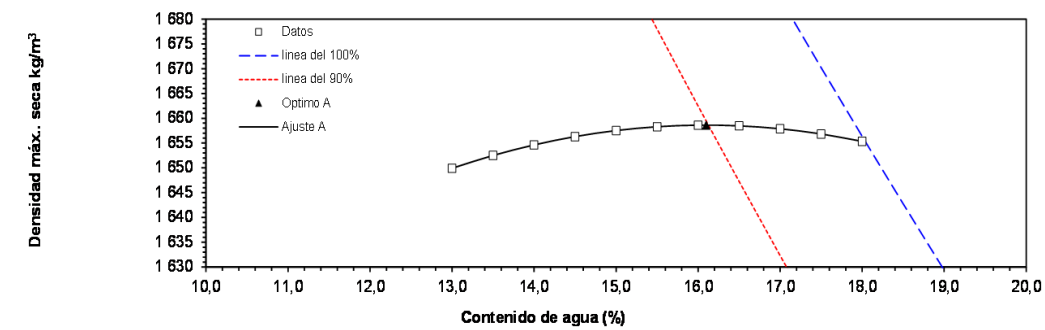
% Pasando la malla No. 4
100

Relación humedad densidad de suelos usando el mazo de 4,54 kg y caída de 457 mm. INS-L-048 (AASHTO T 180)

Descripción de la muestra: Arcilla de alta plasticidad dosificada con 10% de cemento blanco y 10% de Acryl 60

Distribución granulométrica de muestra	
Malla	% Retenido
50,0 mm	---
19,0 mm	---
4,75 mm	---

Gráfica humedad - densidad



Método Utilizado:	C
Humedad óptima:	16,1 %
Densidad máxima:	1 659 kg/m ³
Tipo de cara	Circular de 50,8 mm
Corrección por partículas de sobre tamaño	
Humedad óptima corregida:	--- %
Densidad máxima corregida	--- kg/m ³
Partículas de sobre tamaño (Tamiz 19,0 mm)	--- %
Gravedad específica	---

Atentamente,
VIETO & ASOCIADOS,S.A.

Ing. José Ma. Barrantes R.
Control de calidad

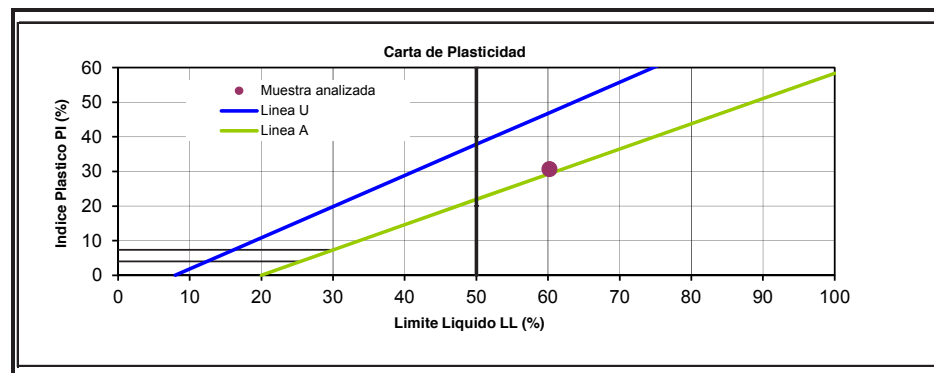
c.c Archivo

Método estándar para determinación del límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad en suelos INS-L-043 (AASHTO T 89, AASHTO T 90, ASTM D4318)

Método A

Condición de muestra: Premoldeada

Descripción del material(objeto de ensayo): Arcilla de alta plasticidad color café oscuro



Límite de Atterberg	
Límite líquido	60
Límite plástico	29
Índice plástico	31

NP: No plástico
NA: No aplica

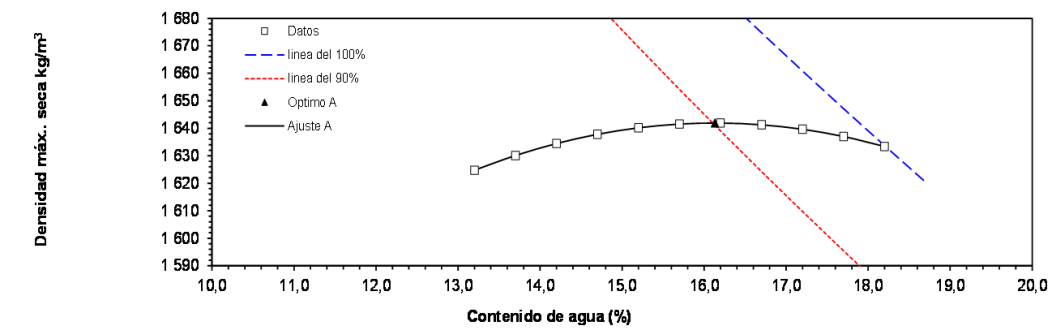
% Pasando la malla No. 4
100

Relación humedad densidad de suelos usando el mazo de 4,54 kg y caída de 457 mm. INS-L-048 (AASHTO T 180)

Descripción de la muestra: Arcilla de alta plasticidad color café oscuro

Distribución granulométrica de muestra	
Malla	% Retenido
50,0 mm	---
19,0 mm	---
4,75 mm	---

Gráfica humedad - densidad



Método Utilizado:	C
Humedad óptima:	16,1 %
Densidad máxima:	1 642 kg/m ³
Tipo de cara	Circular de 50,8 mm
Corrección por partículas de sobre tamaño	
Humedad óptima corregida:	--- %
Densidad máxima corregida	--- kg/m ³
Partículas de sobre tamaño (Tamiz 19,0 mm)	--- %
Gravedad específica	---

Atentamente,
VIETO & ASOCIADOS,S.A.

Ing. José Ma. Barrantes R.
Control de calidad

c.c Archivo

