

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC- DBL-007	Fecha 08- 07-2021	Revisión B
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. i
				(82)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	José Mauricio Julio Sepúlveda		
FACULTAD	Facultad de Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización en Interventoría de Obras Civiles		
DIRECTOR	Phd Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis De Los Criterios De Interventoría Técnica En El Desarrollo De Procesos Constructivos De Edificaciones En Tierra		
TITULO EN INGLES	Analysis Of The Criteria Of Technical Auditing In The Development Of Constructive Processes Of Earthen Constructions		
RESUMEN (70 palabras)			
Con el paso de los años las viviendas vernáculas han evolucionado para responder a los retos del clima, los materiales de construcción y las expectativas socio-culturales de determinadas regiones. Los procesos constructivos que involucran el desarrollo de estas estructuras están cargados de tradiciones que se han recopilado a lo largo de un periodo de prueba y error en el que el ingenio de los constructores locales los ha llevado a perfeccionar las diferentes técnicas			
RESUMEN EN INGLES			
Over the years, vernacular dwellings have evolved to respond to the challenges of climate, building materials and the socio-cultural expectations of particular regions. The construction processes involved in the development of these structures are steeped in traditions that have been compiled over a period of trial and error in which the ingenuity of local builders has led them to perfect different techniques.			
PALABRAS CLAVES	Criterios, Interventoría, Técnica, Constructivos, Edificaciones.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Criteria, Technical, Technical, Constructive, Buildings.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:83	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**Análisis De Los Criterios De Interventoría Técnica En El Desarrollo De Procesos
Constructivos De Edificaciones En Tierra**

José Mauricio Julio Sepúlveda

Facultas De Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Especialización En Interventoría De Obras Civiles

Phd Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

28 septiembre 2023

Índice

Introducción.....	vi
Capítulo 1. Generalidades de las construcciones vernáculas	7
1.1 Contexto histórico y panorama mundial del sector de la construcción	7
1.2 Aspectos tradicionales y culturales de los sistemas constructivos	10
1.3 Factores que influyen las construcciones vernaculares	13
1.3.1 Disponibilidad de materiales.....	14
1.3.2 Distribución del edificio.....	15
1.3.3 Tamaño del edificio.....	15
1.4 Análisis de los sistemas constructivos y materiales empleados en la construcción vernácula en el municipio de Ocaña	16
1.5 Regulaciones y normativas para las construcciones vernáculas.....	17
Capítulo 2. Sistemas constructivos en tierra.	19
2.1 Tipos de sistemas constructivos.	19
2.1.1 La Tapia.....	19
2.1.2 El bahareque.....	20
2.1.3 El adobe.....	21
2.1.4 Construcciones de mampostería de piedra y ladrillo	22
2.1.5 Construcciones de Madera	24
2.2 ¿Son las edificaciones en tierra estructuras sismoresistentes?	25
2.3 Ventajas y desventajas de las construcciones en tierra.....	32
2.3.1 Argumentos a favor de la construcción de tierra no estabilizada.....	34
2.3.2 Argumentos a favor de la construcción de tierra estabilizada.....	35
Capítulo 3. Control y calidad de los materiales en tierra	36
3.1 Proyectos de ingeniería y grande edificaciones fabricadas con tierra.	36

3.2	Procesos constructivos y procedimientos en obra.....	38
3.2.1	Cimientos	38
3.2.2	Procesos de Mezclado	38
3.2.3	Muros	39
3.2.4	Cubiertas.....	45
3.2.5	Tierra estabilizada	47
3.3	Controles y ensayos de laboratorio.....	51
3.3.1	Esquema de los procedimientos de prueba de compresión.	53
3.3.2	Ensayo de resistencia a la compresión.	54
3.3.3	Ensayo de resistencia a la compresión bloques de tierra comprimida.	55
3.3.4	Características de resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida.	59
3.4	Sistemas tradicionales de construcción.	63
3.4.1	La tapia.....	64
3.4.2	El Bahareque	65
3.5	El Adobe	65
3.6	Uso de Estabilizadores.....	66
3.7	Comparación entre los sistemas tradicionales y las construcciones vernáculas.....	68
Capítulo 4. Rol del interventor en el desarrollo de labores de rehabilitación y mantenimiento de edificaciones en tierra.....		71
4.1	Funciones y responsabilidades del interventor.....	71
4.2	Control de Materiales	72
5.	Conclusiones	74
Referencias		76

Lista de figuras

Figura 1 Casa de Tapia Pisada.	20
Figura 2 Casa de Bahareque..	21
Figura 3 Fabricación de ladrillos de Adobe.	22
Figura 4 Casa fabricada en mampostería, piedra y ladrillo..	23
Figura 5 Casa en madera.	25

Lista de Tablas

Tabla 1	Comparación entre los consumos energéticos y contaminación de los ladrillos.	69
Tabla 2	Comparación entre las construcciones vernaculares y los sistemas tradicionales	69

Introducción

Las construcciones en tierra o vernáculas constituyen una invención humana que relaciona factores ecológicos, económicos, materiales, políticos y sociales (Asquith y Vellinga, 2006), y a lo largo de la historia han sido empleadas diversas técnicas vernáculas y materiales moldeados por la cultura local, el clima y la ubicación geográfica (Azis y Shawket, 2011) (Toe y Kubota, 2012). Algunos ejemplos de las diferentes técnicas y materiales empleados son las construcciones de adobe (Estructuras a materiales arcillosos), las cuales han sido empleadas durante miles de años para la construcción de edificaciones en todo el mundo (Bodach et al., 2014) (Priya et al., 2012).

Con el paso de los años las viviendas vernáculas han evolucionado para responder a los retos del clima, los materiales de construcción y las expectativas socio-culturales de determinadas regiones. Los procesos constructivos que involucran el desarrollo de estas estructuras están cargados de tradiciones que se han recopilado a lo largo de un periodo de prueba y error en el que el ingenio de los constructores locales los ha llevado a perfeccionar las diferentes técnicas (Zhai y Previtali, 2010). No obstante, al ser en la mayoría de los casos las construcciones en tierra producto de un proceso artesanal carecen de un control técnico que permita el desarrollo de procesos constructivos adecuados y correcto control de materiales. En este sentido es importante realizar un análisis de estas técnicas ancestrales, desde la fundamentación teórica y científica, puntualizando en los nuevos avances que fomentan el desarrollo de la construcción sostenible y la forma en que estos se pueden controlar, supervisar y verificar desde el ejercicio de la interventoría.

Capítulo 1. Generalidades de las construcciones vernáculas

1.1 Contexto histórico y panorama mundial del sector de la construcción

Los edificios representan el 45% del uso de energía en todo el mundo, el 80% del uso de agua potable y el 50% de la extracción de madera. También representan alrededor del 40% de los desechos sólidos urbanos y el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global y la lluvia ácida. La emergente crisis energética y medioambiental mundial exige una revolución sustancial de las filosofías, estrategias, tecnologías y métodos de construcción y gestión del diseño de edificios (Estenssoro Saavedra, 2010).

La construcción tiene impactos significativos sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Los desafíos emergentes de la energía y el medio ambiente en el mundo exigen una revolución sustancial en las filosofías, estrategias, tecnologías y métodos de construcción del diseño de edificios (Garzón et.al, 2017). Las arquitecturas vernáculas, construidas por personas cuyas decisiones de diseño están influenciadas por las tradiciones de su cultura, se han obtenido a través de un largo período de prueba y error y el ingenio de los constructores locales que poseen conocimientos específicos sobre su lugar en el planeta y, por lo tanto, son valiosos en promover tecnologías de construcción pasivas específicas para el clima en los edificios modernos (Lara, 2014).

En la mayoría de los países desarrollados, los arquitectos diseñan la mayoría de los edificios nuevos. Sin embargo, cuando uno mira colectivamente los edificios del mundo tanto

ahora como a lo largo de la historia, queda claro que los arquitectos profesionales diseñaron un porcentaje muy pequeño de estructuras. Se estima que más del 90% de todas las estructuras que existen hoy en día fueron diseñadas por las personas que las utilizan, no por los arquitectos. El número de viviendas asociado con esta estimación incluye aproximadamente 800 millones de viviendas (Tillería, 2010). La arquitectura vernácula se utiliza para describir estructuras construidas por personas cuyas decisiones de diseño están influenciadas por las tradiciones de su cultura. La arquitectura vernácula varía ampliamente con el amplio espectro de clima, terreno y cultura del mundo. Contiene información inherente y no escrita sobre cómo optimizar el rendimiento energético de los edificios a bajo costo utilizando materiales locales. Con el paso del tiempo, las viviendas vernáculas han evolucionado para responder a los desafíos del clima, los materiales de construcción y las expectativas culturales en un lugar determinado. Las tradiciones vernáculas se han recogido a través de un largo período de prueba y error y el ingenio de los constructores locales que poseen un conocimiento específico sobre su lugar en el planeta, un bien que se está volviendo cada vez más escaso en nuestra era de comunicación remota y subcontratación. Como tal, es valioso comprender y aplicar los atributos vistos en la arquitectura vernácula antigua a los nuevos edificios (Tillería, 2010).

Durante miles de años desde que se construyeron las ciudades, la tierra se ha utilizado como material de construcción (Roa, 2011). Estas construcciones se pueden encontrar en todo el mundo con énfasis en el África bereber, el Magreb, el Cercano Oriente, América del Sur y Central y también el Sur de Europa. Se estima que más de la mitad de la población mundial vive en construcciones de tierra (Bestraten y Hormias, 2011). Esto se debe a que es un material de bajo costo disponible en todas partes y es reciclable, incombustible y proporciona un buen

aislamiento térmico. En los tiempos modernos, la tierra se ha seguido utilizando en nuevas construcciones, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, hoy en día se puede observar un resurgimiento de este tipo de construcción en todo el mundo, incluso en los países desarrollados, debido a problemas energéticos y ambientales, sumado a un creciente interés por la arquitectura de este tipo de construcciones (Macías y García, 2010).

En estos países, sin embargo, la construcción de tierra ya no es una solución de baja calidad y bajo precio. Un estudio realizado en Portugal en el que se compararon los muros de tierra apisonada con las soluciones realizadas con los actuales muros de ladrillo hueco, adobe y bloques de tierra compactada mostró que los muros de tierra apisonada eran los más caros (unas cinco veces más por metro cuadrado que los bajos -Solución de ladrillo actual de calidad) (Braga y Graça, 2012). Sin embargo, cuando estos muros de tierra apisonada se incluyeron en una casa de campo unifamiliar estándar y se compararon con las soluciones globales equivalentes con los otros materiales de muro, el costo adicional general se redujo a solo el 15%. Esto demuestra que la tierra apisonada es una solución económicamente viable que ofrece las atractivas ventajas de una mejor estética, comodidad y autenticidad (Trigo, 2015).

En Colombia, la construcción de tierra también forma parte del patrimonio construido. Si bien no se pueden citar fuentes confiables sobre la fecha inicial del uso de la tierra como material de construcción, se admite que se remonta al inicio del período prehistórico. Sin embargo, la construcción de tierra sufre una degradación física con el paso del tiempo, debido especialmente al agua, y sus débiles propiedades mecánicas son un inconveniente adicional. La mayoría de

estos problemas pueden superarse mediante mejoras adecuadas en las propiedades de los materiales y soluciones constructivas y de refuerzo (Roa, 2011).

1.2 Aspectos tradicionales y culturales de los sistemas constructivos

Generalmente suele distinguirse entre construcción popular, primitiva y vernácula. La tradición popular es la traducción directa y desinteresada a la forma física de una cultura, sus necesidades y valores, así como los deseos, sueños y pasiones de un pueblo. Es la visión del mundo escrita en pequeño, el entorno "ideal" de un pueblo expresado en edificios y asentamientos, sin diseñador, artista o arquitecto con un hacha que pulir. La falta de conciencia es una característica clave de la lengua vernácula. En su obra fundamental sobre la naturaleza del diseño. La tradición implica rigidez, fuerte resistencia al cambio. Al mismo tiempo, la tradición simplifica el proceso de aprendizaje porque hay una forma de hacer las cosas, una forma de no hacerlas y estas formas son aceptadas más allá de toda duda por todos los constructores (Gil, 2018).

Sin embargo, como el propietario suele ser un participante activo del proceso de construcción, realiza un programa de mantenimiento permanente, reparando cualquier avería o sustituyendo cualquier componente deteriorado sin más demora. También adapta el edificio a las crecientes necesidades de su familia. La construcción y la reparación son un asunto cotidiano en el que los materiales impermanentes y las formas de vida inestables exigen reconstrucción y reparación constantes; así, la inadecuación de la forma del edificio conduce directamente a la acción. Esta franqueza es el segundo elemento clave del proceso inconsciente de construcción

vernácula. Sin embargo, dada la inquebrantable fijación establecida por la tradición, los cambios importantes en el proceso sólo se introducirán, bajo una fuerte compulsión, cuando haya fuertes irritaciones que exijan correcciones; estas irritaciones suelen ser el resultado de variaciones en el contexto circundante.

Por esas razones, hay un proceso permanente de ajuste que eventualmente convergerá en formas bien ajustadas. Sin embargo, este ajuste requiere tiempo para suceder y, en consecuencia, el ajuste de forma debe realizarse más rápidamente que la deriva del contexto cultural. Esta es una condición esencial que diferencia las construcciones vernáculas de otras viviendas sin ingeniería, como la mayoría de los barrios marginales que brotan casi de la noche a la mañana en muchas grandes ciudades del mundo en desarrollo (Pérez Gil, 2018).

En resumen, la tradición y la franqueza representan dos características antagónicas que impulsan dialécticamente el proceso inconsciente, donde la franqueza impulsa el proceso y la tradición suministra la amortiguación viscosa necesaria para proporcionar la estabilidad y la permanencia necesarias.

El proceso de diseño vernáculo es uno de modelos y ajustes o variaciones, aunque son las muestras individuales las que se modifican, no el tipo. Durante el proceso, el propietario es un participante activo tanto en la definición de las características individuales y los ajustes al modelo como en el proceso de construcción, aunque los artesanos especializados sí juegan un papel importante ya que poseen un mejor conocimiento de ciertas reglas. Y procedimientos.

Otras características de las construcciones vernáculas son:

- Falta de pretensiones teóricas
- Sintonía con el sitio y el microclima
- Respeto con las demás personas y su vivienda y con el medio ambiente en general
- Circunscrito dentro de un idioma, con variaciones dentro de un orden dado
- Tiene un carácter indefinido, aceptando cambios y adiciones definidos por sus ocupantes según uso y necesidad.

Las construcciones de viviendas vernáculas son tecnologías de construcción únicas y locales en áreas locales absorbidas por la gente, los recursos y el conocimiento locales. En todo el mundo, las construcciones de viviendas vernáculas están ocurriendo de manera significativa y sus características racionales y resilientes son hoy en día más reconocidas en términos de sostenibilidad. Las viviendas vernáculas sin ingeniería existen abundantemente en todo el mundo donde la mayoría de las casas se encuentran en asentamientos rurales y suburbanos y una fracción contable en áreas urbanas (Guerrero y Hastings, 2020).

La universalidad de la tierra como material de construcción es fascinante; se estima que más del 30% de los edificios del mundo están hechos de tierra en la actualidad. Estas estructuras constituyen un depósito de patrimonio arquitectónico en casi todos los países del mundo. El uso extensivo de la tierra se debe al bajo costo, disponibilidad y viabilidad de la misma. Además, bajo el prisma de la directiva moderna de sostenibilidad en la construcción, la tierra como material de construcción es de gran interés.

1.3 Factores que influyen las construcciones vernaculares

La arquitectura vernácula es una construcción humana que resulta de las interrelaciones entre factores ecológicos, económicos, materiales, políticos y sociales. A lo largo de la historia, se emplearon en todo el mundo muchas técnicas y materiales vernáculos moldeados por la cultura local, el clima y la ubicación geográfica. Además, muchas de estas técnicas y materiales se han utilizado en varias regiones con diferentes condiciones climáticas y antecedentes culturales. Por ejemplo, la construcción de adobe (arcilla o barro) se ha utilizado como material de construcción principal durante miles de años para la construcción de edificios en la mayoría de las regiones habitadas de todo el mundo (Yeras, 2015).

Además, se pueden encontrar algunos ejemplos de edificios modernos construidos con adobe en muchos países que tienen diferentes condiciones climáticas. Del mismo modo, muchas técnicas vernáculas como patios y torres de viento (captadores) se aplicaron en edificios modernos para diseños pasivos. Sin embargo, existen algunas técnicas vernáculas que se han desarrollado para climas cálidos del desierto para buscar enfriamiento y luz natural. La selección de estas técnicas y materiales para tal edificio generalmente depende de los beneficios deseados, así como de la disponibilidad local de materiales de construcción y mano de obra calificada (Crespo, 2014).

El suelo ha sido, y sigue siendo, el material de construcción más utilizado en la mayoría de los países en desarrollo: es barato, está disponible en abundancia y es fácil de transformar en

elementos de construcción. La experiencia ha demostrado que la tierra sigue siendo un material viable, dados los costosos aumentos en el consumo de energía provocados por la producción de materiales de construcción modernos.

El uso apropiado de la construcción de tierra produce edificios cómodos y rentables, y los bloques de tierra estabilizada comprimida se han utilizado con éxito para viviendas de bajos ingresos en diferentes partes del mundo. Así, la construcción de tierra contemporánea es económicamente beneficiosa en la construcción de viviendas urbanas de bajo costo (Lavid, 2017).

1.3.1 Disponibilidad de materiales

El primer factor que influye en el desarrollo de las prácticas de construcción vernáculas está relacionado con la disponibilidad de materiales de construcción locales. En muchas áreas, los recursos disponibles localmente han gobernado el uso de los siguientes materiales constituyentes para este tipo de edificaciones:

- Adobe (bloques de barro o paredes enteras)
- Mastería (piedra, arcilla o bloques de hormigón)
- Madera

Con frecuencia, se ha utilizado una combinación de materiales en la construcción, por ejemplo, el uso de elementos de madera dentro de las paredes.

1.3.2 Distribución del edificio

Otro factor determinante es la distribución del edificio, es decir, la forma típica de un plan de construcción, generalmente relacionada con muchas tradiciones culturales, histórica y urbanística. Se han identificado tres formas de planta principal en edificios tradicionales:

- Plano circular
- Planta rectangular
- Plano lineal (casas adosadas o casas de vagones en Rumania)

El plano de planta circular ofrece la mejor resistencia a las fuerzas sísmicas.

1.3.3 Tamaño del edificio

El tercer aspecto se relaciona con el tamaño de un edificio. Según su tamaño, estos edificios se pueden clasificar como:

- Una sola planta
- Edificios de varios pisos

El tamaño del edificio se rige por su uso particular. Por ejemplo, una vivienda puede usarse solo para dormir, para dormir y comer, o para uso mixto (dormir, comer y trabajar). Claramente,

los edificios de uso mixto requieren la construcción de un piso adicional, lo que requiere una mayor capacidad de carga de los muros, especialmente si estos muros también deben resistir los efectos de los terremotos. Cabe señalar que el tamaño del edificio también está relacionado con el patrón de población y la densidad de viviendas en un área determinada. Por ejemplo, los edificios de un solo piso son comunes en las áreas rurales, mientras que los edificios de varios pisos se encuentran con mayor frecuencia en áreas urbanas densamente pobladas.

1.4 Análisis de los sistemas constructivos y materiales empleados en la construcción vernácula en el municipio de Ocaña

La mayoría de municipios de la Región cuenta con una arquitectura de tradición española, arquitectura basada en la tierra como material primordial, tan importante fueron estos materiales que la mayoría de las iglesias y templos sagrados fueron levantados empleándolos, Una muestra de esto es la iglesia Nuestra Señora Del Rosario construida en tapia y techos de teja al igual que la mayoría de los domicilios de las personas más acaudaladas de la población. Las viviendas de las personas de menos recursos económicos fueron edificadas utilizando el conocimiento ancestral de los indígenas en algunos casos mezclándolo con lo aprendido de los españoles.

Durante las últimas décadas, el estilo de vida de los Ocañeros ha cambiado sustancialmente, transformándose al urbanismo moderno, lo que afectó la naturaleza de sus viviendas. La vivienda en Ocaña se ha transferido drásticamente de viviendas convencionales generalmente de una planta a viviendas más permanentes y con un sistema estructural elaborado. Muchas técnicas arquitectónicas vernáculas, como torres de viento, patios, fuentes y mushrabiya, se utilizaron tradicionalmente para la refrigeración y la iluminación natural. Las

viviendas típicas tenían paredes, pisos y techos gruesos para un mejor desempeño térmico. Las unidades de vivienda vernáculas se construyeron con materiales locales que se produjeron in situ, como arcilla (adobe), piedra caliza, piedra y madera.

Con respecto al Adobe, es un material de construcción vernáculo que solía ser ampliamente utilizado en los edificios vernáculos de la región, debido a su disponibilidad local y su capacidad para proteger del clima exterior. Fue el principal material de construcción para paredes, pisos y techos. Las casas construidas con materiales de construcción de adobe han resistido la prueba del tiempo: hay ejemplos de tales edificios que tienen más desde la época colonial. Por lo general, el espesor de las paredes de adobe es de unos 30 a 50 cm, mientras que debe tener al menos 45 cm de espesor para obtener el máximo beneficio de la masa térmica y, por lo general, el techo tiene un espesor de 30 a 40 cm. Sin embargo, con la introducción de materiales de construcción de concreto y acero, el uso del adobe ha desaparecido en gran medida, a pesar de que los estudios muestran que tiene propiedades térmicas superiores en comparación con las estructuras de concreto y acero (Rivera, 2012).

1.5 Regulaciones y normativas para las construcciones vernáculas

Las viviendas vernáculas son construcciones sin ingeniería. Esta amplia categoría representa una parte muy grande, a veces la gran mayoría, del entorno construido y, por definición, incluye todo tipo de construcciones construidas sin asistencia profesional. Hay muy pocas posibilidades de que cumplan con los códigos de construcción o los permisos de construcciones oficiales y, con frecuencia, se construyen en sitios peligrosos o inapropiados. En

consecuencia, las construcciones sin ingeniería representan una amenaza muy seria para la mayoría de sus ocupantes en caso de un gran terremoto (Giraldo, 2016).

Sin embargo, los edificios vernáculos poseen ciertas cualidades específicas que los diferencian radicalmente de otros tipos de construcciones sin ingeniería. Son el resultado de tradiciones ancestrales, mejoradas gradualmente a lo largo del tiempo en respuesta a las necesidades de sus ocupantes o a los requisitos cambiantes de su entorno físico. En un proceso permanente de prueba y error, son capaces de alcanzar un ajuste asintótico y dinámico para adaptarse bien a su entorno, cambiando gradualmente en respuesta a las nuevas circunstancias. En consecuencia, las construcciones vernáculas han sido elogiadas por arquitectos, ingenieros y antropólogos culturales por ser soluciones extremadamente efectivas a las necesidades de sus habitantes y a los requisitos físicos planteados por su entorno.

Siempre que se requiera la construcción de bloques de tierra para cumplir con los requisitos mínimos de desempeño reglamentario, es necesario completar las pruebas de control de calidad. La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas esenciales para caracterizar la capacidad de carga de tensión de los materiales.

Capítulo 2. Sistemas constructivos en tierra.

2.1 Tipos de sistemas constructivos.

Como se dijo anteriormente la tierra es el material más antiguo utilizado para la construcción, muchas veces esta característica la hace parecer arcaica, vieja o pasada de moda, desconociendo con esto sus propiedades bioclimáticas al contar con poca transferencia de calor, su economía (ya que puede encontrarse con facilidad y la mayoría de terrenos son aptos para utilizarlos en los métodos que vamos a describir a continuación), la tierra es un material ambientalmente viable y sostenible, debido a que es un material reutilizable que no necesita transportarse (Rivera Torres, 2012). Las formas más comunes de construcción en tierra en el municipio de Norte de Santander y la región son:

2.1.1 *La Tapia*

La construcción en Tapia (Figura 1) consiste en compactar la tierra o dicho tradicionalmente en pisar o apisonar capas de tierra hasta formar muros sólidos, utilizando para esta labor un molde tipo formaleta con los espesores y alturas deseados, una vez terminada una sección del muro estos moldes se pueden desplazar hacia arriba o hacia los lados para luego repetir el procedimiento y de esta forma realizar la totalidad de los muros.

Por lo general la tierra utilizada para esta labor son obtenidas de la zona donde se quiera construir ya que la gran mayoría de esta es apta para este método constructivo, haciendo de la tapia pisada una alternativa eficaz y económica para todos los constructores en especial para

aquellos ubicados en zonas rurales o apartadas de lugares de acopio de materiales (Hoffmann, 2011).

Figura 1 Casa de Tapia Pisada. ArquitecturaNativa.org, 2018.



2.1.2 El bahareque

A su vez el bahareque (Figura 2) consiste en un sistema construido sobre una estructura o esqueleto de madera que luego será recubierto en tierra la cual se mezcla previamente con boñiga, se le llama cagajón, formando así muros con un espesor entre los 25 a 40 cm. Fue el bahareque el método constructivo más usado durante los inicios del municipio de Río de Oro, aun se pueden ver viviendas levantadas con este método, la más antigua ubicada en el barrio

CHAGRES la cual se presume cuenta con una edad cercana a los 280 años, es también el bahareque el método constructivo más usado en los sectores rurales del municipio (Muñoz, 2010).

Figura 2 Casa de Bahareque. DenkZeit.net, 2020.



2.1.3 El adobe

El adobe es un ladrillo hecho con tierra (Figura 3) que a diferencia del ladrillo común estará secado al sol, factor importante para un obtener un óptimo secado, para realizar este ladrillo se utiliza un molde de madera y su llenado es hecho en tierra que al igual que los métodos ya descritos abunda en el sector ya que la mayoría de los terrenos son aptos para esta labor, al no emplear hornos para su realización y secado este método de construcción a tomado

fuerza en los sectores rurales del municipio ya que la totalidad de la materia prima necesaria para levantar los muros con este método se obtienen del mismo terreno donde será construida (Baca, 2020).

Figura 3 Fabricación de ladrillos de Adobe. Greelane.com, 2019.



2.1.4 Construcciones de mampostería de piedra y ladrillo

La construcción de viviendas vernácula más extendida implica el uso de muros de mampostería como estructura de carga. La técnica más sencilla se basa en el uso de bloques cocidos al sol, generalmente clasificados como adobe, descritos en el apartado anterior. El uso de ladrillos de arcilla quemada está muy extendido donde se dispone de leña o carbón como combustible. El ladrillo de arcilla es un material de construcción tradicional utilizado durante siglos en muchas partes del mundo. La piedra es el material disponible localmente en algunas

regiones. Los bloques de piedra sin forma recolectados en el campo también se han utilizado para la construcción de viviendas durante siglos, principalmente en forma de construcciones de piedra y escombros sin cortar (al azar). En algunos casos, las piedras se han moldeado, generalmente con herramientas manuales. Tal construcción se llama "mampostería de piedra labrada" (Vargas, 2016).

Figura 4 Casa fabricada en mampostería, piedra y ladrillo. Sogestone.com, 2019.



Los edificios de mampostería son generalmente muy vulnerables a los efectos de los terremotos y, a menudo, experimentan daños importantes durante estos eventos. Se caracterizan por un comportamiento bastante frágil, por ser masas pesadas que atraen fuerzas sísmicas mayores y, a menudo, por conexiones débiles. Además de lo anterior, la gran variación en la calidad de las unidades de mampostería y del mortero utilizado, y su vulnerabilidad intrínseca a acciones sísmicas fuera del plano son las causas subyacentes del colapso de muchas estructuras

de mampostería. Las técnicas comunes utilizadas para mejorar la resistencia sísmica de las estructuras de mampostería incluyen la adición de refuerzo, generalmente en forma de tablonos de madera, o barras de acero o lazos que conectan las paredes con los pisos, y vigas anulares que garantizan la integridad estructural¹. Como en el caso de las estructuras de tierra, también se desea el uso de planos de plantas regulares y simétricas para mejorar el rendimiento sísmico (Vargas, 2016).

2.1.5 Construcciones de Madera

Aunque no son tan comunes en Norte de Santander, este tipo de edificaciones suele encontrarse en otras partes del mundo. Las ventajas de la construcción de viviendas de madera se derivan del uso de madera, un material de construcción ligero y dúctil. Un tema crítico en la construcción con madera está relacionado con las conexiones (piso-viga, columna-viga o panel-viga) y su capacidad para transferir las fuerzas de un miembro del edificio a otro y luego a los cimientos. Cabe señalar que la madera es bastante vulnerable a los efectos de la humedad y los insectos. Además, el uso de la construcción con madera está limitado por la disponibilidad local de materiales de madera adecuados. La estructura portante consta de postes de madera que forman un marco encerrado por una tela tensada de fieltro. Estas viviendas tienen un plano circular y son extremadamente ligeras (Lizán Navarro, 2018).

El Bahareque puede incluirse en esta categoría, una construcción tradicional que consiste en postes de madera, con listones de madera o bambú formando un bolsillo lleno de barro en la pared (algo similar a la forma norteamericana de construcción de madera). Este tipo de

construcción también ha estado expuesta a numerosos terremotos en la región y, en general, se ha comportado muy bien.

Figura 5 Casa en madera. Nucleosdemadera.com, 2020.



2.2 ¿Son las edificaciones en tierra estructuras sismoresistentes?

Algunas formas de construcción de viviendas vernáculas o tradicionales utilizan prácticas, materiales y elementos de construcción que dan como resultado un buen comportamiento sísmico. Estas formas son particularmente comunes para regiones de alto riesgo sísmico: países como Turquía, India, Japón, El Salvador, Perú, Kirguistán, Portugal, Italia, etc. En muchos casos, se han logrado buenos resultados sin ningún conocimiento técnico específico, sino más

bien a través de un tipo de proceso de “selección natural” aplicado a la construcción de edificios. Debido a la constante amenaza de terremotos, la población local ha aprendido los principios de la construcción resistente a terremotos a través de un proceso de "prueba y error" (Blondet et. al, 2011).

El desempeño deficiente de algunas prácticas de construcción en caso de terremoto provocó que se descontinuaran su uso futuro. Por otro lado, las prácticas de construcción que funcionaron bien se replicaron y mejoraron aún más después de cada nuevo terremoto. Este proceso se ha producido en varias zonas geográficas y culturas propensas a los terremotos. Curiosamente, varias culturas diferentes, viviendo en circunstancias similares, llegaron de forma independiente a técnicas de construcción similares, sin ninguna comunicación conocida o intercambio de conocimientos técnicos (Blondet et. al, 2011).

Históricamente, la principal causa de muerte de la mayoría de los terremotos destructivos ha sido el colapso de viviendas. En un pasado cercano, el terremoto de 1976 Ms 7.6 Tangshan en China, con mucho el evento más mortal del siglo XX, casi arrasó la ciudad de 1 millón de personas matando a más de 250000 e hiriendo a otras 500000. Esta catástrofe en realidad superó en un factor de diez las experiencias mortales de otros terremotos importantes en ese siglo, pero la destrucción de ciudades enteras, la consecuente muerte de miles de personas y la convulsión social y económica resultante ha sido una constante en nuestro planeta desde el amanecer de las civilizaciones hasta la actualidad (Serrano, 2020).

El problema que puede restringir más severamente el tipo de construcción vernaculares es su escasa resistencia, como lo demostró claramente el terremoto del 26 de diciembre de 2003 en Bam, Irán. La fortaleza y la mayoría de los edificios de la ciudad, que eran construcciones de tierra, se derrumbaron durante el terremoto de magnitud 6,6. Algunos estudios se han realizado utilizando modelos físicos en regiones más propensas a desastres naturales, a saber, terremotos. Su objetivo es aumentar la resistencia de estas construcciones y dieron lugar a códigos y reglamentos, el Código de Nueva Zelanda de 1998 , el Código de Nuevo México de 2006 y la Norma australiana de 2002, que contemplan el fortalecimiento estructural sísmico. El enfoque principal de estos códigos de diseño son los edificios nuevos, aunque muchos de los principios se pueden aplicar al reacondicionamiento sísmico de estructuras existentes. (Serrano, 2020)

También existen algunos documentos que tratan los conceptos básicos del diseño estructural para la construcción de tierra, así como los principios y consideraciones a tener en cuenta en relación con la conservación por la vulnerabilidad sísmica de estas construcciones. Dos de estas publicaciones son "Pautas de planificación e ingeniería para la estabilización sísmica de estructuras históricas de adobe" (2002) y "Estabilización sísmica de estructuras históricas de adobe — Informe final del proyecto Getty Seismic Adobe" (2002), ambas del Instituto de Conservación Getty. Si bien existe una fuerte actividad sísmica en el sur del continente, los países europeos no han elaborado códigos de construcciones de tierra que aborden este tema. Sin embargo, los investigadores están desarrollando estudios para mejorar el rendimiento y la resistencia de estas construcciones.

Con el fin de estudiar el posible uso de la tierra como material principal en la nueva construcción en zonas sísmicas, como el sur de Portugal, que ahora está siendo testigo de un leve resurgimiento de la construcción de tierra apisonada, un estudio paramétrico sobre una casa de dimensiones típicas y adecuadas.

Se están realizando algunas investigaciones en esta área, pero apenas se trata del análisis estructural. Se han realizado muy pocos estudios utilizando modelos numéricos de construcción de tierra por medio de elementos finitos donde se realizaron análisis espectrales convencionales utilizando modelos lineales. Sin embargo, algunos otros investigadores han presentado resultados experimentales basados en modelos a escala real, desarrollados a partir de modelos numéricos. Por ejemplo, Maniatidis y Walker publicaron un trabajo sobre la capacidad estructural de pilares de tierra sometidos a compresión con cargas centradas y excéntricas. Para estudiar el refuerzo de las construcciones de tierra es necesario caracterizar la materia prima. La maximización de la resistencia mecánica de este tipo de construcción también puede abordarse agregando otros materiales como sugieren Jayasinghe y Kamaladasa.

Otros investigadores, como Morel et al., han analizado la influencia de la geometría de los bloques de tierra para maximizar su resistencia a la compresión. Otros investigadores, como Jayasinghe y Mallawaarachchi, llevaron a cabo pruebas en ladrillos y bloques de tierra estabilizada comprimida y tierra apisonada estabilizada, con el fin de determinar su resistencia a la flexión. En la mayoría de los proyectos de investigación y estudios experimentales, se han construido modelos a escala real con el fin de proporcionar pautas útiles para prácticas adecuadas en este tipo de construcción (Villada y Gordon, 2017).

Los resultados confirman los temores de que la construcción de tierra apisonada no reforzada no sea adecuada en zonas de sismicidad moderada y alta. Esto se debe a la gran diferencia entre las tensiones máximas, en particular las tensiones de tracción, y los respectivos valores aceptables. Sin embargo, la principal conclusión de este trabajo es que es posible construir construcciones de tierra en áreas de alta sismicidad con niveles aceptables de resistencia sísmica, siempre que se observen las adecuadas reglas y soluciones de diseño y fortalecimiento. Esta conclusión permite aprovechar este tipo de material, reciclable y de baja demanda energética para su fabricación, sin poner en peligro la vida y la propiedad de las personas.

Las estructuras reforzadas mostraron niveles mucho más bajos de desplazamientos y tensiones en los elementos de tierra que la estructura no reforzada. La inclusión de elementos de piedra en las intersecciones de los muros y alrededor de las aberturas mejoró el comportamiento, lo que provocó una reducción significativa de los mayores desplazamientos fuera del plano y una reducción considerable de los esfuerzos más altos. Sin embargo, en algunos casos, las tensiones de tracción máximas son casi el doble de la tensión de tracción máxima permitida, lo que indica que pueden producirse daños importantes. La inclusión de cables que conectan fachadas paralelas no resultó ser muy eficaz en estructuras previamente reforzadas con elementos de piedra en las intersecciones y aberturas de las paredes. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que un análisis no lineal, que tenga en cuenta una posible disminución de la rigidez de las paredes en la dirección longitudinal después del agrietamiento por tracción, probablemente indicaría que los cables son más efectivos para contrarrestar estos efectos al restringir el fuera del plano. (Villada y Gordon, 2017). Movimiento de muros exteriores. Sin embargo, los resultados muestran que la

estrategia de refuerzo más efectiva es agregar vigas RC en la parte superior de todos los muros y agregar columnas RC en todas las intersecciones de los muros.

Al restringir las deformaciones del muro de tierra y confinar los paneles del muro de tierra, los elementos RC reducen en gran medida los esfuerzos de tracción en los muros de tierra, a niveles solo ligeramente por encima de los valores permitidos y por debajo de estos valores en el caso de esfuerzos cortantes. Esto se basa en la suposición de que los desplazamientos relativos no tienen lugar en las interfaces hormigón-tierra, lo que puede ser necesario asegurar mediante detalles específicos. Todo esto indica que las estructuras de tierra pueden sobrevivir a fuertes terremotos con daños moderados si se diseñan y refuerzan adecuadamente. Otra ventaja del refuerzo con elementos de hormigón armado es que si se producen daños graves, p. Ej. causado por un terremoto que induce la aceleración del suelo por encima de los valores de diseño, o porque las propiedades del material son peores de lo esperado, el marco RC (vigas y columnas) puede continuar sosteniendo el techo. Por lo tanto, se recomienda que los elementos RC estén diseñados explícitamente para soportar el peso de la estructura del techo. Aunque esto puede no ser suficiente para controlar los daños en las situaciones descritas anteriormente, probablemente salvaguardará la vida humana. Para controlar los daños en estas situaciones, puede ser necesario mejorar las características de la tierra para evitar o al menos contener la extensión del agrietamiento. Una posible técnica para esto puede ser mezclar tierra con cemento (estabilización) (Villada y Gordon, 2017).

Por ejemplo, para una mezcla de tierra con un 5% de cemento, un esfuerzo de compresión de 3,05 MPa sería un valor máximo plausible (un aumento del 400% de la tierra sin cemento).

Esto daría lugar a $\sigma_{\text{maxtens}} = 0,61 \text{ MPa}$ (σ_{maxtens} = máxima resistencia a la tracción), según el criterio de Varum. Aunque se esperan los resultados en la estabilización de la tierra, se mencionan para resaltar que el daño se puede evitar al tratar el suelo, produciendo un material de mayor calidad y más capaz de soportar tensiones más altas (Jorquera, 2016).

La construcción sostenible, en este caso en forma de nuevas construcciones en las que la tierra es el principal material estructural. Tras la reactivación de este material por motivos ecológicos, se han construido construcciones en regiones sísmicas sin la debida previsión de seguridad estructural, situación potencialmente catastrófica dadas las limitaciones comprobadas del material desde el punto de vista de la resistencia a los efectos de la acción cíclica.

En las regiones sísmicas del mundo, donde los terremotos pequeños y moderados son bastante frecuentes, estos eventos se consideran como otra acción específica del medio físico y la capacidad estructural requerida para resistirlos suele estar bien incorporada dentro de esta estrategia darwiniana. Sin embargo, con terremotos fuertes, la situación cambia drásticamente, ya que se trata de eventos con una probabilidad de ocurrencia extremadamente baja y grandes efectos perturbadores sobre el entorno construido. Por lo tanto, resulta prácticamente imposible incorporar una estrategia de resistencia eficaz mediante estos procedimientos graduales y asintóticos y solo ciertos tipos de edificios vernáculos, en particular aquellos con poca masa y materiales resistentes a la tracción correctamente utilizados, pueden resultar adecuados para tales eventos (Jorquera, 2016).

Dado que los mecanismos eficaces para hacer frente a los desastres parten de la cultura de la construcción local, las características de resiliencia de las viviendas vernáculas deben evaluarse cuidadosamente junto con los desastres inminentes. Las construcciones vernáculas se practican durante muchos siglos y es obvio que muchas partes del mundo estarían más apegadas a esta tecnología durante siglos debido a las limitaciones económicas y tecnológicas en términos de cambiar la práctica de la construcción hacia el hormigón armado. El desarrollo de la tecnología vernácula estará respaldado por el uso extensivo de los recursos locales y las características dinámicas de la tecnología en sí misma en términos de adaptación a los recursos disponibles y prueba continua por parte de los profesionales locales. La evolución basada en la modificación gradual a través del golpe y el juicio ha llevado a la tecnología vernácula a ser dinámica y compatible con la configuración socioeconómica contemporánea

2.3 Ventajas y desventajas de las construcciones en tierra.

La arquitectura de tierra contemporánea muestra evidencia significativa que resuelve la crisis de la vivienda en los países en desarrollo y también puede abordar las emisiones excesivas de dióxido de carbono, el calentamiento global y el cambio climático en los países desarrollados. La sostenibilidad ambiental es un desafío importante y los profesionales de la disciplina del medio ambiente construido se enfrentan a una enorme tarea para abordar este problema en todo el mundo. La construcción de tierra contemporánea existe hoy en día en dos formatos principales que esencialmente incluyen la construcción de tierra estabilizada y no estabilizada. Sorprendentemente, algunos expertos en medio ambiente construido son reacios y se oponen a

prescribir la tierra estabilizada como una solución a la crisis de la vivienda urbana y la sostenibilidad ambiental (Fuentes García, 2010).

Históricamente, la tierra se utilizó como material de construcción en todo el mundo y el uso universal de la tecnología de construcción de tierra demuestra que es una ventaja. La construcción de tierra apisonada es una forma barata de proporcionar refugio, ya que la tierra es un recurso abundante. Además de sus ventajas políticas, económicas, sociales y ecológicas, la tierra tiene una gran importancia cultural y arquitectónica. La construcción en tierra tiene la singularidad de manifestar el patrimonio cultural de cualquier pueblo y fomentar el uso continuo del material ayuda a mantener y preservar la artesanía y los valores culturales incrustados en la construcción de tierra.

Los ladrillos y bloques de tierra pueden ser un sustituto de los bloques de hormigón en la mayoría de las aplicaciones internas, donde no es adecuado para uso externo debido a las severas razones climáticas. Sin embargo, al utilizar la tierra como material de construcción sostenible para la vivienda no debemos asumir que desaparecerán todos los problemas de la vivienda (Fuentes García, 2010).

El beneficio económico de la construcción con tierra, mencionado por la mayoría de los autores, lo convierte en la principal ventaja de la construcción con tierra contemporánea. Vale la pena mencionar aquí que, algunos investigadores de construcción de tierra (por ejemplo: Sanya, 2007) encontraron que la construcción de tierra estabilizada contemporánea no era económicamente beneficiosa. La literatura sobre los beneficios económicos de la construcción

contemporánea de tierra estabilizada es escasa y hay muy pocas investigaciones estructuradas disponibles. El suelo ha sido, y sigue siendo, el material de construcción más utilizado en la mayoría de los países en desarrollo: es barato, está disponible en abundancia y es fácil de transformar en elementos de construcción. La experiencia ha demostrado que la tierra sigue siendo un material viable, dados los costosos aumentos en el consumo de energía provocados por la producción de materiales de construcción modernos.

2.3.1 Argumentos a favor de la construcción de tierra no estabilizada.

Las construcciones de tierra no estabilizada incluyen muros de adobe, mampostería de adobe, tierra apisonada, adobe y barro y fueron las técnicas de muro de adobe comúnmente empleadas. Tales técnicas de uso de suelo tienen las ventajas distintivas como ecológico, reciclable, económico y mejor confort térmico, los expertos y pioneros de la modernización no quieren hacer creer que la llamada 'casa de barro ya no estará presente en un mundo bien desarrollado y es necesario examinar la relevancia del uso de tierras no estabilizadas. Cabe señalar que el creciente tema del cambio climático puede alterar por completo los posibles escenarios futuros. Si se debe detener el cambio climático, el uso de combustibles fósiles debe reducirse en el mundo occidental y el crecimiento del consumo de combustibles fósiles en el mundo en desarrollo debe ralentizarse y, en este sentido, el uso de tierra no estabilizada ofrece una excelente Alternativa 'sin combustibles fósiles' al uso de tierra estabilizada o ladrillo. Además, la tierra no estabilizada está disponible en grandes cantidades en la mayoría de las regiones, lo que hace que la mayoría de los usuarios y constructores favorezcan esta construcción (Fuentes García, 2010).

Una estructura de tierra es una construcción que se basa principalmente en tierra sin procesar disponible localmente como material de construcción básico, y últimamente se ha generado un interés sustancial en las construcciones de tierra debido a su baja energía incorporada, impacto mínimo en el medio ambiente y su capacidad para proporcionar una mejor comodidad a los ocupantes. Se ha encontrado que varias prácticas de construcción de tierra incorporan alta energía incorporada debido a la adopción de tecnologías similares a las técnicas de construcción modernas

2.3.2 Argumentos a favor de la construcción de tierra estabilizada.

La principal ventaja del bloque de suelo estabilizado frente al ladrillo cocido es el ahorro de energía significativo (alrededor del 70%) y estos bloques son más baratos entre un 20 y un 40% en comparación con los ladrillos cocidos. Las construcciones de barro puro (no estabilizado) adolecen de dos grandes inconvenientes: - pérdida total de resistencia a la saturación y erosión debido al impacto de la lluvia; por lo tanto, los suelos se estabilizan y se utilizan para diversas aplicaciones de ingeniería. Para cumplir con los estándares dedicados a los materiales industriales, se esperan normas de durabilidad más estrictas de la tierra apisonada. Se proponen varios tipos de pruebas de durabilidad (es decir, prueba de rociado y goteo, enfoque de resistencia de húmedo a seco, etc.) para materiales de tierra en general y tierra apisonada en particular (Fuentes García, 2010).

Capítulo 3. Control y calidad de los materiales en tierra

3.1 Proyectos de ingeniería y grande edificaciones fabricadas con tierra.

La tierra se ha utilizado como material de construcción desde siempre porque es un material de bajo costo, disponible en casi todas partes, reciclable, incombustible y que proporciona un buen aislamiento térmico y acústico. Hoy en día, más de la mitad de la población mundial todavía vive en casas de tierra. En los países industrializados, en las últimas décadas ha surgido un resurgimiento de este tipo de construcción debido a preocupaciones energéticas y medioambientales, sumado a un creciente interés por la arquitectura de este tipo de construcciones (Larrota y Roa, 2020).

Entre las técnicas de construcción de tierra, la tierra apisonada es una de las más importantes tanto en la construcción tradicional como en la arquitectura de tierra moderna. Permite la construcción de muros monolíticos que se realizan, tramo a tramo, mediante compactación del material de tierra entre encofrados exteriores. Pero el uso de esta técnica requiere la existencia de suelos adecuados. Es un tema importante seleccionar y posiblemente corregir el suelo. La selección y preparación de una materia prima adecuada es fundamental para el éxito pleno del rendimiento de la tierra apisonada (Acero Mantallana, 2012).

Tradicionalmente, la construcción de tierra apisonada se desarrolló generalmente donde los suelos tenían un contenido de arcilla demasiado bajo para ser adecuado para la producción de bloques de tierra de adobe. De hecho, la elección de una u otra técnica de construcción de tierra

siempre se basó en un amplio conocimiento empírico de los materiales locales y sus potencialidades. Se acepta comúnmente que el suelo que se utilizará en tierra apisonada debe tener un alto contenido de arena con la arcilla suficiente para actuar como aglutinante: demasiada arcilla puede dar lugar a problemas de agrietamiento debido a los efectos de contracción.

Sin embargo, los conocimientos tradicionales se perdieron en su mayor parte o ya no son suficientes en el contexto de la industria de la construcción moderna. Por estas razones, se ha realizado un esfuerzo considerable en las últimas décadas para producir documentos normativos que los usuarios puedan seguir para acceder a los suelos disponibles. Se han elaborado documentos de diferentes tipos que, en general, se basan en la definición de valores umbral adecuados para determinadas propiedades clave de los suelos. Esto se muestra, por ejemplo, en el trabajo previo de Jiménez-Delgado y Cãnas-Guerreiro (2007) quienes llevaron a cabo extensos estudios de documentos normativos para la construcción de tierra no estabilizada en general y discutieron los requisitos. Además, Cid et al. (2011) en un análisis más completo en el panorama normativo sobre la construcción de tierras discutieron los aspectos más relevantes, como los posibles métodos y materiales para la estabilización de suelos, requerimientos del suelo y los procedimientos experimentales disponibles (Larrotta y Roa, 2020).

Es común encontrar artículos que hacen referencia a buenos ejemplos de edificios antiguos con desempeño satisfactorio, que aún se encuentran en uso y en buen estado en la actualidad, como es el caso de las casas tradicionales de tierra apisonada en Francia. Sin embargo, sorprendentemente faltan artículos que analicen y discutan las características de los suelos

utilizados en estas exitosas construcciones de tierra apisonada, que podrían servir como referencia en la definición de valores umbral apropiados (Acero Mantallana, 2012).

3.2 Procesos constructivos y procedimientos en obra.

3.2.1 *Cimientos*

En el municipio y la región las construcciones en tierra por lo general no usan cimientos debido a la poca sismicidad de la zona en cuestión, sin embargo algunas de estas cuentan con cimientos para los cuales se usan los mismos componentes, ya sea para la Tapia, el bahareque o el Adobe los cimientos se construyen a partir de los mismos elementos los cuales se componen de piedras de río cuidadosamente seleccionadas por los constructores adheridas con una mezcla de Arena, Agua y Cal, que funciona como mortero de pega. Las dimensiones de los cimientos varían dependiendo el método constructivo debido a las dimensiones del muro, por ejemplo, para el bahareque y el adobe por lo general las dimensiones de cimentación son de 30 a 40 cm de profundidad por 35 - 40 cm de ancho, para la tapia la profundidad es la misma pero el ancho vario al igual que el muro entre los 35 y 80 cm.

3.2.2 *Procesos de Mezclado*

La mezcla que constituirá los muros de tapia, bahareque y adobe, es básicamente la misma, por lo general en las diferentes construcciones la mezcla se obtiene del sitio de construcción teniendo así diferentes componentes de arena, limo o arcilla, sin embargo y siguiendo las recomendaciones planteadas en la investigación del maestro Carlos Mauricio Bedoya en su libro

Construcción Sostenible, Para Volver Al Camino se recomienda que la composición del suelo sea de un 55% a un 75% de arena, de un 10% a un 28% de limo y de un 15% a un 18% de arcilla.

3.2.3 Muros

Debido a que el proceso de levantamiento de los muros es diferente para cada método de construcción haremos una descripción para cada uno de ellos.

Levantamiento Muros en tapia pisada

El conjunto de elementos necesarios para levantar los muros en tapia se conoce como Tapial, el cual consiste en ubicar formaletas de formas vertical para luego llenar su interior con tierra que será compactada a golpes con un pisón y así formar muros firmes.

Tapial o Formaleta: Son dos formaletas compuestas por la unión de tablas de madera las cuales se sostienen por medio de los parales, estas formaletas se dispondrán a cada lado del muro para compactar la tierra.

Parales: Hechos en Madera por lo general con forma redondeada de alrededor de 4 o 5 cms de diámetro, la altura de los parales debe superar por lo menos 50 centímetros a altura de las formaletas para luego ser unidos mediante lazos en la parte superior, en la zona inferior los parales encajan en las agujas para darle forma al tapial.

Agujas: Al igual que los paraleles y las formaletas las agujas están construidas en madera la cual debe ser muy resistente ya que serán la base y soportaran el peso de la estructura, para una formaleta de 2 metros se usan 3 agujas, dos en los extremos y una en el centro del muro, las agujas se unen a los paraleles por medio de orificios a los extremos de las mismas los cuales se encajan y se refuerzan con cuñas.

Compuerta: Las compuertas están a cada extremo del tapial en forma vertical, construidas en los mismos materiales de la formaleta y con una anchura que varia dependiendo del ancho que se requiera para el muro.

Ñeque: Se le conoce como ñeque a un mazo de madera de alrededor de 30 cm de Largo con una circunferencia de 10 cm, cada 30 cm de altura del muro se encaja este mazo de madera en el centro de la compuerta para que una vez desencofrado deje abiertos los orificios para luego usando madera unir este muro con los siguientes.

Tacos: Los tacos se ubican 10 centímetros antes de terminar la altura de los muros y deben tener la misma longitud que el ancho de los muros en construcción, estos tacos se ubican en la misma dirección donde están ubicadas las agujas, ya que estos son los encargados de dejar el orificio en el muro donde se soportaran las mismas y por lo tanto el peso de la estructura del tapial cuando se vaya a construir el muro superior.

Codal: El codal es una pieza de madera que se utiliza en las esquinas de los muros cuando se va a cambiar la dirección de los mismos con el objetivo de separar el tapial del muro ya

construido, los codales se ubican en las zonas inferior y superior y tendrán una longitud igual al ancho del muro con una circunferencia de 5 a 8 centímetros.

Pisón: El pisón es la herramienta que se encarga de compactar la tierra, de aproximadamente 1.50 m de alto con una punta tipo paleta que se encargara de golpear correctamente las capas de tierra.

Una vez esté debidamente instalado y nivelado el encofrado el cual debe contar con buenas características de solidez y estabilidad para soportar correctamente la compactación sin sufrir desplazamientos o descomponer su propia estructura los constructores procederán a cubrir las Agujas con piedras previamente seleccionadas las cuales impedirán que salga tierra por las juntas además de permitir que las agujas puedan retirarse y así terminado el muro poder continuar con el siguiente, la altura de estas piedras varía entre los 8 a 15 cm de altura.

Ubicadas las piedras en la zona inferior del muro se vacía tierra dentro del encofrado para que sea compactada a golpes con el pisón, como se dijo anteriormente este procedimiento se realiza por capas las cuales no deben superar los 10 cm, el apisonador sabe que debe dejar de golpear cuando escucha un cambio de sonido o cuando aprecia que la capa compactada queda a buen punto entonces seguirá con la siguiente.

Con cada capa compactada el muro se hará más alto hasta alcanzar los límites del encofrado, 10 centímetros antes de la altura del encofrado se situarán 2 troncos de madera, ya se

mencionó anteriormente que estos son conocidos en la región como Tacos cuya función es permitir la entrada de las agujas para seguir construyendo el muro sobre este.

Terminado el muro el paso a seguir es desencofrar, procedimiento que debe realizarse cuidadosamente para no permitir fracturas ni fisuras que puedan comprometer la estabilidad del muro, aunque en el municipio y la región no se acostumbra aceitar las formaletas debido a que el apisonador al estar dentro del tapial mancharía y ensuciaría las demás herramientas además de su ropa de trabajo, podría recomendarse hacerlo utilizando A.C.P.M. con el objetivo de facilitar el desencofrado y así evitar daños en el muro.

Levantamiento Muros en Bahareque

Levantar muros en bahareque es un procedimiento completamente diferente al ya mencionado método de tapia pisada, debido a que este cuenta con una estructura en madera que luego será rellena de tierra, piedras, boñiga y paja.

En la zona pocas viviendas ya construidas en bahareque cuentan con cimientos, debido a que los constructores locales prefieren enterrar los troncos principales de la estructura hasta una profundidad de 60 cm, estos troncos llamados en la zona como estantillos son seleccionados en su mayoría de árboles de mantequilla o cualquier madera que el constructor crea resistente para esta función (Castillo y Nieves, 2018).

La estructura o esqueleto del bahareque está formado por elementos verticales que como ya se dijo se conocen bajo el nombre de estantillos, estos estantillos van asegurados a elementos horizontales hechos en lata, para fijar estos elementos en antiguamente en la región se utilizaba la cascara del árbol de guácimo, actualmente y por la facilidad se emplean materiales modernos tales como alambre o puntillas de acero, las latas se ubicarán a cada lado del estantillo para sí formar una estructura sólida que según sus propietarios y constructores soporta aceptablemente las exigencias del clima.

Como ya se dijo en general los estantillos son de árboles de mantequilla de aproximadamente 12 o 15 cm de diámetro, los estantillos se separan entre los 40 a los 50 cm y las latas ubicadas horizontalmente deben estar entre los 10 y 15 cm. Como ya se vio en la fotografía de la estructura o esqueleto entre los elementos queda un vacío que obviamente debe ser cubierto, para el relleno del interior del muro se utiliza arcilla húmeda o barro mezclada previamente con piedra de río, terrones o pasto picado, esta mezcla barrosa se presiona con los dedos hasta que quede a nivel de la parte externa de las latas, lo cual le da su textura única y distintiva, a este método se le denomina en la construcción como muros de bahareque embutido.

Levantamiento Muros en Adobe

Levantar muros en ladrillos de adobe es un proceso muy similar al levantamiento de muros con ladrillo cosidos, además de presentar un proceso similar la estética es semejante lo cual ha tenido gran aceptación en la zona rural del municipio donde se utiliza con frecuencia, producto a su vez que los materiales se encuentran fácilmente pues esencialmente son tierra, agua y fibras

vegetales, lo cual hace que al igual que el bahareque y la tapia los ladrillos de adobe presenten buenas condiciones acústicas y bioclimáticas, además de la mayor ventaja para las zonas rurales, no necesita transporte ya que puede hacerse en el sitio.

Para que el ladrillo de adobe presente las mejores condiciones y su desempeño en la estructura sea el mejor, los constructores pisan muy bien el barro, como ya se dijo cualquier tierra es funcional para esta labor, pero de ser posible se deben tener en cuenta las características mencionadas en la definición, durante el pisoteo se le agrega paja picada y se trata de mezclar lo mejor posible. Luego de tener una mezcla homogénea se vacía en los moldes los cuales tienen unas dimensiones de 28 cm de soga, 14 cm tizón y 10 cm de grueso, empezando por las esquinas y tratando de compactarla con mucha fuerza para que logren salir las partículas de aire, el molde puede ser retirado en cuanto se termine el proceso de vaciado, los ladrillos no deben manipularse hasta por lo menos tres días después del desmolde, y lo recomendable es que las piezas de adobe se realicen y se sequen a la sombra.

Una de las pocas desventajas de este proceso es la lentitud del proceso de secado que como ya se dijo es de aproximadamente tres días, donde se debe contar con la infraestructura para que las piezas de adobe no se vean afectadas por el agua lluvia.

Una vez secos y listos los ladrillos de adobe se dispondrán de la misma manera que se haría con un muro de ladrillo cosido, en las zonas rurales del municipio se realiza el aparejado a soga y para la unión de estos se usa el barro con las mismas propiedades con las cuales previamente se hizo el ladrillo de adobe.

Pañetes:

Las viviendas de tapia, bahareque y Adobe usan los mismos elementos para sus pañetes conocidos en la construcción con tierra como revoques, los cuales han cambiado con el paso del tiempo, en el pasado se empleaban Barro, boñiga y paja los cuales se cubrían con una capa de pintura de cal mezclada con sábila que hacía las veces de impermeabilizante, actualmente este método se cambió por pañetes de cemento para los cuales se utilizan una malla de acero con puntillas para que el cemento adhiera y adquiera firmeza y finalmente una capa de pintura a base de agua, este último método se hizo muy popular por lograr uniformidad en el pañete mejorando así el aspecto estético con respecto a los pañetes de barro, sin embargo estos no presentan las mismas propiedades bioclimáticas.

3.2.4 Cubiertas

Ver una panorámica antigua desde alguno de los cerros tutelares del municipio de Río de Oro da a los pobladores gran nostalgia ya que se puede apreciar la arquitectura perdida por la modernidad, en esas panorámicas podemos diferenciar fácilmente cual vivienda esta construida en bahareque y cual está construida en tapia pisada, esto debido al material de las cubiertas, para las viviendas con muros de tapia se utilizaban techos de teja debido a que el bahareque sería incapaz de soportar el peso de dicha estructura, las cubiertas con entramado de madera y paja seca se utilizaban para los muros de bahareque y generalmente eran las viviendas de las personas con menos recursos económicos.

Los materiales modernos para cubiertas han cambiado por completo el panorama de las viviendas con tierra, ya que se han desplazado los materiales extraídos de la naturaleza por

elementos sintéticos los cuales eliminan las bondades de los muros de tierra, haciendo que la vivienda pierda toda su capacidad bioclimática y muchas veces acústica, materiales como el Eternit están siendo excluidos del mercado por estar en estudio los perjuicios generados a la salud.

Con el objetivo de conservar las propiedades bioclimáticas de la construcción en tierra se recomienda no utilizar elementos sintéticos en la construcción de las cubiertas sea cual sea el método constructivo de los muros, esto generará una vivienda en armonía con las propiedades que ya conocemos como son, poca transferencia de calor, inercia térmica y materiales fácilmente reutilizables o reciclables.

Cubiertas de Teja: Las cubiertas de teja se caracterizan por ser pesadas por esa razón se utilizan frecuentemente en viviendas con muros de tapia pisada de alrededor de 50 a 120 cm de espesor, sostenidas en una estructura como se muestra a continuación:

Las cubiertas de teja cuentan con una estructura por lo general de madera con elementos como la viga cumbre la cual estará en la parte más alta de la cubierta soportada por los puntales y por las viguetas o alfardas las cuales a su vez estarán encargadas de soportar las correas que son elementos horizontales construidos por un encañe en latas de alrededor de 3 cm de diámetro, sobre estas se instalará una tela impermeabilizante que se encargara de direccionar el agua lluvia hacia las canaletas, para luego con barro pisado empezar a ubicar las tejas .

Cubiertas de Paja: A diferencia de los techos en teja española que como su nombre lo indica provienen de la colonización española las cubiertas de paja proceden de indígenas, podemos ver en la sierra nevada de Santa Marta pueblos milenarios como los Arhuacos, los Wiwas, los Kogis y los Kankuamos utilizan estructuras parecidas a la que se usan en el municipio para cubrir las viviendas de bahareque, método constructivo que estas comunidades ancestrales también utilizan para la construcción de sus muros.

3.2.5 Tierra estabilizada

Son diversos los expertos en construcción de tierra que no apoyan en absoluto la promoción de la construcción de tierra estabilizada en viviendas urbanas, ya que generalmente perciben, la construcción de tierra estabilizada significa la construcción de tierra estabilizada con cemento. A pesar de que la tierra estabilizada es una alternativa de bajo consumo de energía y podría ser rentable en muchas situaciones, su accesibilidad a los pobres de las zonas rurales y urbanas dista mucho de ser satisfactoria; y aunque la construcción de tierra estabilizada es menos costosa que la mampostería de ladrillos, a menudo sigue siendo más cara de lo que la mayoría de los pobres pueden pagar. Además, es lamentable que muchos practicantes de la estabilización sistemática no conozcan, o no aprecien las características originales de un suelo, y comiencen a estabilizar el suelo con excesiva prisa cuando no es particularmente útil (Cid, Mazarrón y Cañas, 2011).

Además, la mayoría de las desventajas (es decir, problemas de erosión de la pared de tierra por la lluvia y el agua de la inundación, roedores que hacen agujeros en la pared y el piso, y bajo rendimiento durante un terremoto) asociados con las casas de adobe (tierra no estabilizada)

pueden superarse mediante mejoras adecuadas en diseño y tecnología, como estabilización de suelos, arquitectura apropiada y mejora de técnicas estructurales. Por tanto, es pertinente desmitificar y comprender qué significa estabilización y por qué es necesaria.

Según Houben y Guillaud (1994, p74), estabilizar el suelo implica la modificación de las propiedades del sistema suelo-agua-aire con el fin de obtener propiedades duraderas que sean compatibles con una aplicación particular y la estabilización es, sin embargo, un problema complejo, ya que se trata de un gran número de parámetros. Según King (1996, p54), la tierra estabilizada es una mezcla parecida a una roca de arcilla, arena limosa, grava, agua, burbujas de aire microscópicas y, por lo general, algo de aglutinante, y en muchas partes del mundo la construcción con tierra todavía se practica utilizando solo el contenido de arcilla como aglutinante. Algunos constructores han experimentado con cal, cenizas volantes, asfalto, emulsión y una combinación de estos materiales como aglutinantes y el aglutinante más fuerte es el cemento Portland (King, 1996). La tierra apisonada es una unidad de mampostería monolítica hecha con tierra, marga, paja, donde la consolidación se logra por medios mecánicos, sin procesos químicos que cambien la naturaleza de los materiales. Houben y Guillaud (1994) enumeraron los siguientes conocimientos y habilidades necesarios para la estabilización:

- Las propiedades del suelo que requieren estabilización.
- Las mejoras previstas.
- Economía del proyecto: costo y retrasos involucrados en la estabilización del suelo.
- Las técnicas de construcción del suelo elegidas para el proyecto y el sistema de construcción.

- Mantenimiento del proyecto terminado, costo de mantenimiento.

Según Houben y Guillaud (1994, p74), existen tres procedimientos de estabilización:

Estabilización mecánica: la compactación del suelo que resulta en cambios en su densidad, resistencia mecánica, compresibilidad, permeabilidad y porosidad.

Estabilización física: las propiedades del suelo se pueden modificar actuando sobre su textura. Por ejemplo: - la mezcla controlada de diferentes fracciones de granos. Otras técnicas pueden incluir tratamiento térmico, secado y congelación, tratamiento eléctrico, electro-ósmosis para mejorar las cualidades drenantes del suelo y dar nuevas cualidades estructurales.

Estabilización química: se agregan otros materiales o químicos al suelo modificando así sus propiedades, ya sea por una reacción físico-química entre los granos y los materiales o el producto agregado, o creando una matriz que une o recubre los granos. Una reacción físico-química puede conducir a la formación de un nuevo material, como una puzolana resultante de una reacción entre arcilla y cal.

Los investigadores han identificado alrededor de 130 agentes estabilizantes diferentes, incluidos cemento, cal y betún y no existe un estabilizador "milagroso" que pueda aplicarse indiscriminadamente. Además, la estabilización es muy antigua, pero solo en 1920 se pudo desarrollar un enfoque científico; Se llevaron a cabo importantes investigaciones en las tres

décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial y la estabilización del suelo no es una ciencia exacta a pesar del esfuerzo de investigación (Houben y Guillaud, 1994, p73).

La definición de Houben y Guillaud (1994) y los procedimientos de estabilización (Estabilización mecánica) de la tierra estabilizada muestran que agregar solo estabilizadores (aditivos) no estabiliza la tierra. Por lo tanto, la tierra apisonada sin estabilizadores (aditivos, como cemento y cal) puede denominarse tierra estabilizada. Pero Walker et al (2005, p9) afirma que “la tierra apisonada estabilizada es una forma específica de construcción de tierra apisonada que utiliza subsuelos combinados con agentes estabilizantes para mejorar las características físicas del material y el cemento Portland ordinario es, con mucho, el aditivo más utilizado. . ” Esto significa que la tierra apisonada sin agente estabilizador (cemento) se considera tierra no estabilizada, lo que contradice el procedimiento de estabilización mecánica de la tierra de Houben y Guillaud (1994).

La definición de Kings (1996) de tierra estabilizada también muestra que agregar aditivos no es una condición para estabilizar la tierra. Según Norton (1997, p26), “el resultado de la estabilización debe ser permanente. La compactación, por ejemplo, aumenta la resistencia de un suelo, pero su efecto puede revertirse con el agua y, por lo tanto, es posible que sea necesario agregar un estabilizador si es probable que exista exposición al agua. Por el contrario, algunos de los mejores resultados de estabilización se logran cuando se combina con compactación o apisonamiento y, por lo tanto, a menudo se tratan dos juntos. Sin embargo, la estabilización también se puede utilizar en suelos no compactados”. La declaración de Norton (1997) muestra

claramente que la tierra estabilizada no solo significa agregar estabilizador en la tierra y embestir por sí solo puede hacer tierra estabilizada.

3.3 Controles y ensayos de laboratorio.

Los elementos de mampostería simple, como muros de carga, arcos y bóvedas, se han desarrollado para aprovechar la resistencia a la compresión relativamente alta del material. La capacidad de compresión de la mampostería está fuertemente relacionada con la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería (piedra, ladrillo y bloque), así como con la resistencia del mortero, el patrón de adherencia y muchos otros factores. Aunque otros parámetros, como la densidad, la resistencia a las heladas y la absorción de agua, pueden especificarse en el diseño, la resistencia a la compresión se ha convertido en una unidad de medida básica y universalmente aceptada para especificar la calidad de las unidades de mampostería. La relativa facilidad de realizar pruebas de resistencia a la compresión en laboratorio también ha contribuido a su universalidad como expresión de la calidad del material.

Durante muchos siglos, los adobes, bloques de barro sin quemar moldeados a mano, se han utilizado para estructuras de mampostería de carga. Aunque los adobes se utilizan principalmente para edificios residenciales de uno y dos pisos con cargas ligeras, también se han utilizado para construir edificios altos de 10 pisos en Yemen. Durante los últimos cincuenta años, los bloques de tierra comprimida se han desarrollado y se han utilizado cada vez más, especialmente en países en desarrollo. En ese caso, la tierra es un suelo arcilloso con cantidad y calidad variable de arcilla dependiendo del sitio de construcción. La fracción de arcilla es menor que la del adobe, y

generalmente menos del 25% de la humedad seca. La considerable variación de la composición de la tierra hace más importante la medición de la resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida y albañiles expertos para encontrar la composición óptima durante la fabricación del bloque (Medina y Medina, 2011).

La compactación del suelo húmedo, a menudo combinada con 4-10% de estabilización de cemento, mejora significativamente la resistencia a la compresión y la resistencia al agua en comparación con los bloques de adobe tradicionales. La estabilidad dimensional y las tolerancias también se mejoran mucho, lo que permite procedimientos de construcción similares a la mampostería de bloques de concreto y arcilla cocida, en lugar del método de moldeado a mano húmedo que se usa generalmente para adobe.

Las pruebas de resistencia de control de calidad de los bloques de tierra comprimida a menudo se han seguido los procedimientos desarrollados para las unidades de bloques de hormigón y arcilla cocida. Sin embargo, la idoneidad de estos procedimientos no ha sido comprobada en gran medida por estudios científicos. La resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida puede ser muchas veces menor que la de los ladrillos cocidos similares. La resistencia también se ve significativamente influenciada por el contenido de humedad (Medina y Medina, 2011).

Estudios anteriores han informado sobre las características de resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida. La resistencia se mejora mediante el esfuerzo de compactación (densidad) y el contenido de cemento (correlación generalmente lineal), pero se

reduce al aumentar el contenido de humedad y de arcilla (bloques estabilizados con cemento). También se han desarrollado normas nacionales e internacionales para los procedimientos de prueba de bloques de tierra comprimida. Sin embargo, a diferencia de otras unidades de mampostería, hay poco consenso general sobre el procedimiento de prueba para bloques de tierra comprimida. ¿Deben probarse los bloques en seco o en húmedo? ¿Cómo se deben tener en cuenta los efectos dimensionales, como la relación de aspecto y la restricción de la platina?

3.3.1 Esquema de los procedimientos de prueba de compresión.

La resistencia a la compresión experimental de materiales como hormigón, piedra, arcilla cocida y sin cocer es una función de las dimensiones de la muestra de ensayo. La carga se aplica normalmente de manera uniforme a través de dos platos de acero endurecido, rígidos y planos. A medida que aumenta la tensión de compresión, la muestra de prueba se expande lateralmente; sin embargo, debido a la fricción a lo largo de la interfaz entre la platina y la muestra de prueba, la expansión lateral de la muestra se limita. Este confinamiento de las muestras mediante la sujeción de la platina aumenta la resistencia aparente del material. A medida que aumenta la distancia entre las placas, en relación con el grosor de la muestra (relación de aspecto), se reduce el efecto de restricción de la placa (Cabrera et. al, 2020).

En materiales que se funden fácilmente, como el hormigón y el mortero, la mejora en la resistencia a la compresión se acomoda especificando un tamaño y forma de muestra de prueba estándar, generalmente un cubo o un cilindro. Aunque los resultados de las pruebas no son valores verdaderos (ilimitados) para la resistencia a la compresión del material, al adoptar una comparación de geometría estándar entre diferentes muestras y requisitos especificados se logra

fácilmente. Sin embargo, cuando se prueban muestras preformadas, en lugar de fundidas, de tamaño variable, como unidades de mampostería, los efectos de la geometría de la muestra en la resistencia de la unidad no se acomodan tan fácilmente. Los enfoques adoptados en las pruebas de arcilla cocida, hormigón y pruebas de bloques de tierra comprimida se discuten en la siguiente sección (Cabrera et. al, 2020).

3.3.2 Ensayo de resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de las unidades de mampostería de hormigón y arcilla cocida se determina mediante la prueba de carga de unidades individuales en un dispositivo de prueba de compresión, de una manera similar a la prueba de cubos de hormigón y mortero fundidos. Para adaptarse a las irregularidades de la superficie, las unidades se cubren temporalmente con madera contrachapada de 3-4 mm de espesor o láminas similares, o se cubren con una capa delgada de mortero a base de cemento o yeso.

Las unidades que satisfacen los requisitos dimensionales generalmente se pueden probar entre tapas temporales. Los ladrillos que contienen ranas y otros huecos generalmente se rellenan con un mortero de resistencia adecuada, aunque las unidades celulares y huecas generalmente se prueban con los huecos sin rellenar y la resistencia se expresa como una función del área de sección transversal bruta, en lugar de neta. En países como Australia, donde los bloques de hormigón huecos se colocan sobre dos lechos delgados de mortero paralelos a lo largo de sus caras (lecho del revestimiento frontal), la resistencia a la compresión unitaria se determina en consecuencia aplicando la carga de prueba a través de las dos tiras de recubrimiento del revestimiento frontal (Cabrera et. al, 2020).

En países donde los ladrillos de arcilla cocida generalmente se fabrican en un tamaño estándar, los efectos geométricos sobre la resistencia aparente del ladrillo se ignoran ya que la geometría de la muestra es uniforme, como con el cubo de hormigón o prueba de cilindros. De manera similar, al tener un diseño de geometría de prueba estándar, se obtienen fácilmente valores para las propiedades del material, expresados como una función de la resistencia del cilindro de concreto o del ladrillo unitario.

3.3.3 Ensayo de resistencia a la compresión bloques de tierra comprimida.

Fuerza de unidad directa: El procedimiento adoptado en muchas normas y códigos de práctica nacionales es similar al utilizado para bloques de hormigón y arcilla cocidos. Las unidades individuales se tapan y se prueban directamente entre platos. Las superficies de los bloques suelen ser lo suficientemente planas y paralelas, por lo que solo es necesario un recubrimiento fino de láminas de madera contrachapada. Como los bloques también son típicamente sólidos, no es necesaria la preparación de huecos y huecos. Los bloques se prueban generalmente en la dirección en la que se presionaron, que es también la dirección en la que generalmente se colocan. Las muestras de prueba generalmente comprenden entre 5 y 10 bloques (Cabrera et. al, 2020).

Hay algunos tamaños de bloque de tierra comprimida estándar reconocidos internacionalmente, como 295 x 140 x 90 mm, correspondientes al tipo de prensa de bloques en uso. Sin embargo, en general, los tamaños de los bloques varían ampliamente. El método de

producción, en general no industrial, permite al fabricante variar el tamaño y la forma del bloque, para adaptarse a los requisitos mediante el uso de insertos de molde.

Los efectos geométricos sobre la resistencia a la compresión de un bloque individual generalmente se tratan de dos maneras. En muchos casos, los procedimientos de prueba estándar no intentan corregir el resultado de la prueba para el confinamiento de la platina. La resistencia a la compresión media o característica se expresa simplemente tras la manipulación estadística de los resultados de las pruebas individuales. En un enfoque alternativo, sugiere que los efectos de restricción de la platina se compensan factorizando los valores de prueba con un factor de corrección de aspecto.

En algunos casos, los cubos cortados de bloques sólidos se han probado en su lugar en compresión directa. Sin embargo, las pruebas de resistencia comparativa de bloques y cubos del mismo material muestran una correlación directa pobre, aunque en este caso los cubos se presionaron por separado en lugar de cortarse de los bloques. Al probar los cubos, los efectos de la geometría sobre la resistencia a la compresión podrían adaptarse fácilmente. Sin embargo, los efectos de la falta de uniformidad del material que surgen del proceso de fabricación requieren más investigación (Cabrera et. al, 2020).

Prueba RILEM: En un intento de medir directamente la resistencia a la compresión no confinada de los bloques de tierra comprimida, el Comité Técnico 164 de RILEM ha propuesto para duplicar la relación de esbeltez de la muestra de prueba, los bloques se parten por la mitad y se apilan y adhieren usando una junta de lecho de mortero de tierra. La junta de mortero de tierra

reproduce la construcción de mampostería y permite una transferencia de tensión uniforme y uniforme entre bloques apilados. Para permitir una transferencia uniforme de la tensión entre platos y bloques, las muestras se tapan con una capa de neopreno.

También se coloca una hoja de teflón entre la platina y la muestra en cada extremo para minimizar la fricción. Los semibloques se pueden preparar después de la prueba de resistencia al desdoblamiento, una prueba de resistencia a la tracción indirecta similar a la prueba brasileña realizada en cilindros de hormigón.

En el desarrollo de esta prueba, los resultados se han comparado con los de pruebas de cilindros de material similar. La prueba busca replicar la resistencia a la compresión desarrollada por un cilindro con una relación de aspecto de 1,5: 1, que se considera que proporciona un valor de resistencia ilimitado. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión utilizando el procedimiento RILEM han sido verificados de forma independiente por tres laboratorios de investigación en Francia y África del Norte (Calderón, 2013).

Pruebas indirectas: Se ha desarrollado una pequeña cantidad de pruebas de resistencia a la compresión indirecta, principalmente para permitir pruebas de control de calidad in situ de materiales en ausencia de instalaciones de prueba de laboratorio. La metodología de prueba indirecta más citada es la prueba de flexión de tres puntos. Los bloques están sujetos a una carga de un solo punto en condiciones de soporte simple hasta la falla. Las fuerzas requeridas para inducir fallas de esta manera son típicamente 80-150 veces menores que las requeridas para

inducir fallas bajo compresión uniforme y, como tales, normalmente son bastante alcanzables en las condiciones del sitio, sin recurrir a equipos sofisticados.

La tensión de rotura por flexión se calcula asumiendo una flexión pura (momento máximo dividido por el módulo de la sección elástica), ignorando los otros efectos potencialmente significativos como el cortante y la acción de la membrana compresiva (arqueamiento). Varios trabajadores han establecido experimentalmente la correlación entre la resistencia a la flexión a la compresión y a la flexión en tres puntos; los resultados muestran una dispersión considerable, pero se considera ampliamente que hay evidencia suficiente para permitir la predicción del límite inferior de la resistencia a la compresión basada en la resistencia a la flexión. Las pautas y estándares de diseño han adoptado este enfoque. Las desventajas del método de prueba incluyen la susceptibilidad a defectos en los bloques (grietas por contracción). Otro método de ensayo indirecto, menos aceptado, es el ensayo de división, similar al ensayo brasileño utilizado para el hormigón, en el que el bloque se carga a compresión a través de dos barras delgadas de acero a lo largo de caras opuestas. Esto induce un esfuerzo de tracción indirecto, lo que hace que el bloque se parta a lo largo de la línea de carga. La ventaja de esta metodología son las fuerzas muy reducidas que se requieren para inducir la falla. Los bloques de esta prueba también se pueden utilizar en la prueba de resistencia a la compresión RILEM, lo que permite una correlación directa entre los dos resultados medidos (Calderón, 2013).

3.3.4 Características de resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida.

Influencia de la geometría de la muestra:

Como se discutió anteriormente, la geometría de los bloques de prueba tiene una influencia significativa en el valor de la resistencia a la compresión medida utilizando la metodología de prueba estándar. La aparente mejora de la resistencia debido a la restricción de la platina depende de la relación entre la altura y el grosor (relación de aspecto) del bloque. Como se describió anteriormente, un enfoque adoptado es corregir la fuerza medida mediante un único factor de corrección de la relación de aspecto. La ventaja distintiva de este enfoque es que permite utilizar una variedad de tamaños de bloques diferentes, pero, por supuesto, se basa en factores de corrección precisos (Calderón, 2013).

Hasta la fecha, los factores de corrección en uso se establecieron para mampostería de arcilla cocida en lugar de bloques de tierra comprimida más débiles y no uniformes. Los efectos geométricos sobre la resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida se derivan no solo de la restricción de la placa, sino también de la influencia de la fricción durante la fabricación del bloque. La densidad de los bloques producidos usando prensas de ariete de acción simple no es constante, pero se reduce con la altura lejos de la cara del ariete debido a la fricción a lo largo de los lados del molde. Los estudios experimentales han confirmado que el valor aparente de resistencia a la compresión no confinada se alcanza cuando la relación de aspecto alcanza 5. Sin embargo, más allá de una relación de aspecto de 1,5, es poco probable que el material del bloque de tierra comprimida sea homogéneo, debido a la fricción durante la fabricación (Calderón, 2013).

Walker, también ha informado sobre la influencia de la geometría del bloque en los resultados de la prueba RILEM. Para bloques de diferentes tamaños, hechos del mismo material, los resultados del procedimiento de prueba RILEM no se corresponden con los resultados de las pruebas de bloque directo. Bajo compresión directa (confinada), la resistencia del bloque aumentó de 8.5 N / mm² (relación de aspecto 125/140) a 16.0 N / mm² (45/140) a pesar de una reducción del 3% en la densidad del bloque más delgado. El sesgo experimental en la fuerza aparente debido a la geometría es al menos el 88% del rendimiento medido. Cuando se probaron los mismos bloques utilizando la prueba RILEM, el bloque más delgado produjo la menor resistencia a la compresión, 2,26 N / mm² en comparación con 3,14 N / mm² para el bloque de 125 mm de altura.

En este caso, el efecto geométrico se invierte (resistencia más baja para el bloque más delgado) y se reduce mucho en comparación con la prueba de resistencia directa, con el sesgo experimental solo alrededor del 28% de los datos medidos. Los efectos geométricos son menos evidentes cuando se aplican factores de corrección de la relación de aspecto a los valores de bloque directo confinados, lo que produce resistencias de 5,7 N / mm² (125/140) y 6,4 N / mm² (45/140) respectivamente. Sin embargo, considerar todas las densidades secas para estos datos corregidos aún conduce a un coeficiente de variación del 26%.

Se espera que la influencia de la geometría del bloque en la resistencia de la prueba RILEM se deba al comportamiento clásico de la mampostería, ya que la junta del lecho de mortero simple permaneció aproximadamente 10 mm de espesor. Para bloques más delgados, la junta de mortero de 10 mm ha tenido un efecto significativamente mayor en la resistencia del

prisma. El efecto geométrico podría, quizás, mitigarse ajustando el espesor de la junta de mortero de acuerdo con la altura variable del bloque, y merece una mayor investigación. También debe tenerse en cuenta que en la práctica la variación en la geometría de los bloques de tierra comprimida no es tan extrema como se describió anteriormente, pero es posible extender este trabajo al adobe donde la variación en la geometría del bloque puede ser aún mayor (Calderón, 2013).

Las resistencias a la compresión derivadas de diferentes procedimientos de prueba o muestras se han comparado en estudios experimentales. La correlación entre la prueba RILEM y los valores de resistencia ajustados de la prueba directa de bloques completos se muestra en la figura 4. La correlación entre las resistencias de los bloques ajustados y los resultados de la prueba del prisma es similar a la que se muestra en la figura 2 anterior, aunque las resistencias del prisma son aproximadamente un 300% más bajas que la resistencia del bloque ajustada correspondiente. A diferencia de la correlación anterior, no existe una paridad directa entre la resistencia del bloque ajustada y la resistencia de la prueba RILEM. Esta disparidad podría sugerir, junto con los resultados de la figura 2, que los factores de corrección de la relación de aspecto de Krefeld son incorrectos.

Influencia de la densidad seca: La resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida está fuertemente relacionada con la densidad seca lograda en la compactación. La resistencia a la compresión de los bloques individuales aumenta constantemente a medida que aumenta la densidad en seco. Esta relación entre resistencia y densidad ha sido probada consistentemente por datos de prueba durante los últimos 20 años. En la India, la resistencia a la

compresión del bloque se controla mediante la densidad. Antes de la producción, la densidad y la resistencia a la compresión de los bloques prototipo se determinan en el laboratorio.

Posteriormente, la densidad del bloque, para un esfuerzo de compactación dado, se asegura midiendo cuidadosamente, en masa, la cantidad de material añadido al molde.

Influencia del contenido de cemento: Se agrega cemento a los bloques de tierra comprimida para mejorar la durabilidad e, indirectamente, la resistencia a la compresión en húmedo. Los datos producidos por varios investigadores muestran una fuerte correlación, a menudo lineal, entre la resistencia a la compresión y el contenido de cemento. Los datos que se muestran en la figura 6 son típicos de la relación entre la resistencia a la compresión directa y el contenido de cemento.

Influencia del contenido de humedad: El contenido de humedad de los bloques en la prueba tiene una influencia significativa en la resistencia a la compresión resultante. Los bloques se prueban típicamente en condiciones de humedad secas en horno o aire ambiente, lo que refleja esto en condiciones de servicio. La resistencia se reduce a medida que aumenta el contenido de humedad debido al ablandamiento de los aglutinantes por el agua y al desarrollo de presiones de agua porosa. Para suelo llano, no estabilizado, bloquea la resistencia a la compresión cuando está saturado es cero. Aunque existe alguna variación, dependiendo de las propiedades del suelo y el contenido de cemento, la resistencia a la compresión de los bloques estabilizados con cemento después de la saturación de agua es típicamente alrededor del 50% de la medida en condiciones secas [10]. El contenido de humedad de los materiales no estabilizados en la prueba debería reflejar idealmente las condiciones de servicio. La prueba de bloques estabilizados con cemento

después de la saturación permite determinar la resistencia mínima en condiciones de humedad fácilmente controladas y reproducibles, aunque es poco probable que se experimenten condiciones en la práctica. La inclusión de juntas de mortero en la prueba RILEM dificulta la determinación de la resistencia en condiciones saturadas y, por lo general, la prueba se realiza en condiciones ambientales de secado al aire (Calderón, 2013).

3.4 Sistemas tradicionales de construcción.

El movimiento ecológico ha influido enormemente en el diseño y la construcción de la infraestructura construida en todo el mundo. Existe un interés creciente en ofrecer sistemas de “construcción de alto rendimiento”. Un "edificio de alto rendimiento" es como se define en la Ley de Política Energética de 2005: "un edificio que integra y optimiza todos los atributos principales del edificio de alto rendimiento, incluida la eficiencia energética, la durabilidad, el rendimiento del ciclo de vida y la productividad de los ocupantes" (Bestraten y Horminas, 2011).

Los objetivos ecológicos son un poco menos difíciles de cuantificar en comparación con los problemas de durabilidad que ahora se han vinculado formalmente a la búsqueda de materiales ecológicos. El uso de materiales tiene un gran impacto tanto en el ecosistema en general como en las unidades de construcción de alto rendimiento. Los materiales de construcción pueden representar entre el 70% y el 75% del costo total de construcción. Los materiales de construcción más utilizados incluyen cemento, acero, madera, plásticos y vidrio. La fabricación de la mayoría de los materiales convencionales requiere el gasto de recursos no renovables en diversas formas. Muchos de estos procesos de fabricación son perjudiciales para el

medio ambiente. Por ejemplo, las fábricas de acero y cemento emiten gases tóxicos que contaminan el aire. La extracción excesiva de piedra caliza para la quema de cal o la fabricación de cemento ha alterado el equilibrio ecológico. Además, estos materiales convencionales suelen transportarse a grandes distancias contribuyendo así al gasto de energía de combustibles fósiles (Bestraten y Horminas, 2011)..

Algunas de las preocupaciones ecológicas se pueden abordar mediante la adopción de técnicas de construcción basadas en la tierra. Las formas antiguas documentadas de construcción de tierra sugieren que esta práctica se originó en la región del Medio Oriente. Los ejemplos específicos incluyen las aldeas familiares neolíticas 7.000 a. C. en Mesopotamia. Se han encontrado ejemplos similares de esta época en Creta, Egipto e India. En algunas partes del mundo, las comunidades de bajos ingresos habitan en estructuras de paredes de barro semipermanentes.

Algunos de los ejemplos más comunes de construcciones presentes en el municipio de Ocaña son:

3.4.1 *La tapia*

La construcción en Tapia consiste en compactar la tierra o dicho tradicionalmente en pisar o apisonar capas de tierra hasta formar muros sólidos, utilizando para esta labor un molde tipo formaleta con los espesores y alturas deseados, una vez terminada una sección del muro estos moldes se pueden desplazar hacia arriba o hacia los lados para luego repetir el procedimiento y de esta forma realizar la totalidad de los muros.

Por lo general la tierra utilizada para esta labor son obtenidas de la zona donde se quiera construir ya que la gran mayoría de esta es apta para este método constructivo, haciendo de la tapia pisada una alternativa eficaz y económica para todos los constructores en especial para aquellos ubicados en zonas rurales o apartadas de lugares de acopio de materiales (Font e Hidalgo, 2011).

3.4.2 El Bahareque

A su vez el bahareque consiste en un sistema construido sobre una estructura o esqueleto de madera que luego será recubierto en tierra la cual se mezcla previamente con boñiga, se le llama cagajón, formando así muros con un espesor entre los 25 a 40 cm. Fue el bahareque el método constructivo más usado durante los inicios del municipio de Río de Oro, aun se pueden ver viviendas levantadas con este método, la más antigua ubicada en el barrio CHAGRES la cual se presume cuenta con una edad cercana a los 280 años, es también el bahareque el método constructivo más usado en los sectores rurales del municipio (Pineda Uribe, 2017).

3.5 El Adobe

El adobe es un ladrillo hecho con tierra que a diferencia del ladrillo común estará secado al sol, factor importante para un obtener un óptimo secado, para realizar este ladrillo se utiliza un molde de madera y su llenado es hecho en tierra que al igual que los métodos ya descritos abunda en el sector ya que la mayoría de los terrenos son aptos para esta labor, al no emplear hornos para su realización y secado este método de construcción a tomado fuerza en los sectores

rurales del municipio ya que la totalidad de la materia prima necesaria para levantar los muros con este método se obtienen del mismo terreno donde será construida (Rivera Torres, 2012).

3.6 Uso de Estabilizadores

Las tres formas de estabilización del suelo se refieren colectivamente a varias técnicas de modificación para mejorar las propiedades físicas y / o mecánicas de un suelo para una aplicación específica. Esto puede incluir alterar la textura y plasticidad del suelo, por ejemplo, agregando o restando arena, arcilla, etc. También puede incluir compactar el suelo para aumentar su resistencia a la carga. O puede incluir la adición de aglutinantes inorgánicos (por ejemplo, cemento) para mejorar la resistencia y durabilidad, o para hacer utilizable un suelo que de otro modo no sería adecuado.

La estabilización del suelo se puede definir como la modificación controlada de la textura, estructura y / o propiedades físico-mecánicas del suelo. No solo es extremadamente raro que un suelo natural en la condición 'levantada' sea perfectamente adecuado para materiales de construcción de tierra sin ninguna modificación de clasificación del suelo, sino que también la mayoría de las técnicas de construcción de tierra implican alguna forma de compactación para formar un material fuerte y estable. Los enfoques de estabilización pueden clasificarse en términos generales como físicos, mecánicos o vinculantes. Por lo tanto, prácticamente todos los materiales de construcción de tierra se estabilizan de alguna forma, sin embargo, el término se aplica comúnmente solo a la aplicación de aditivos aglutinantes inorgánicos.

La estabilización física es la modificación de, por ejemplo, la distribución del tamaño de las partículas del suelo y la plasticidad mediante la adición / sustracción de diferentes fracciones del suelo con el fin de modificar sus propiedades físicas. La estabilización mecánica es la modificación de la porosidad del suelo y la fricción / enclavamiento entre partículas, por ejemplo, mediante compactación u otros medios. Un aglutinante inorgánico es un aditivo que mejora la resistencia, durabilidad u otras propiedades de las paredes de tierra.

Dado que las técnicas de estabilización mecánica y física ya están implícitas en las técnicas modernas de construcción de tierra (por ejemplo, tierra apisonada, bloques de tierra comprimida) como parte de sus criterios para la selección y preparación de materiales. Al igual que con todos los agregados ligados (por ejemplo, hormigón), el contenido de agua puede afectar fuertemente las propiedades físico-mecánicas de los suelos estabilizados, por lo que tienen propiedades diferentes cuando están saturados en comparación con los secos. Es bien sabido que la resistencia del suelo y la capacidad de carga es mucho mayor en el estado seco, en comparación con el estado saturado, debido a la mayor plasticidad del suelo saturado. Obviamente, el estado más común que existe es la saturación parcial, por lo que la cantidad exacta de contenido de agua puede variar ampliamente como resultado de las condiciones climáticas ambientales o del nivel del agua subterránea.

Muchas empresas modernas de construcción de tierra apisonada estabilizan rutinariamente su suelo con aglutinantes inorgánicos para garantizar una calidad constante en términos de rendimiento mecánico, durabilidad, resistencia a la entrada de humedad y carga termomecánica, es decir, expansión-contracción térmica. Las formas más comunes de estabilización del suelo son

el cemento Portland, la cal no hidráulica, los aditivos hidrófobos y, a veces, la emulsión bituminosa.

Sin embargo, existen varias otras opciones (además de la cal y el cemento) para la estabilización del suelo, incluido el refuerzo de fibras y los polímeros, por ejemplo. Estos se discutirán en las siguientes subsecciones en términos de su composición, propiedades físico-mecánicas y sus mecanismos de adhesión / unión. Otros estabilizadores incluyen aditivos químicos que ofrecen propiedades funcionales específicas tales como aceleración / retardo de fraguado de aglutinantes hidráulicos, plastificantes y aditivos hidrófobos, como se describe en detalle en el Capítulo.

3.7 Comparación entre los sistemas tradicionales y las construcciones vernáculas.

Algunos estudios han demostrado que, construir un metro cuadrado de mampostería con bloques de tierra estabilizada comprimida consume 5 veces menos energía que un metro cuadrado de mampostería de ladrillos cortados con alambre y 15 veces menos que los ladrillos de campo. También que los bloques de tierra estabilizada comprimida son más ecológicos que los ladrillos cocidos y su fabricación consume menos energía y contaminan menos que los ladrillos cocidos. En la tabla 2, se indica algunos valores de referencia del consumo energético y los índices de contaminación de los sistemas tradicionales como el ladrillo de mampostería.

Tabla 1

Comparación entre los consumos energéticos y contaminación de los ladrillos.

Consumo de energía	Emisión de contaminación
4,9 veces menor que el de los ladrillos cortados con alambre	2,4 veces menos que los ladrillos cortados con alambre
15,1 veces menos que los ladrillos cocidos en el país	7,9 veces menos que los ladrillos cocidos en el país

Adicionalmente en la tabla 3, se establece un comparativo entre los sistemas tradicionales de construcción y las construcciones vernaculares, en la cual se destaca las ventajas de estos sistemas.

Tabla 2

Comparación entre las construcciones vernaculares y los sistemas tradicionales.

Construcciones Vernáculas	Sistemas Tradicionales
No requiere de mano de obra calificada para su fabricación debido a que el uso de la maquina es sencillo y cualquier persona la puede maniobrar.	Por su industrialización debe tener un control de calidad meticuloso, por lo tanto el personal es especializado, con protocolos más rigurosos para el manejo de las piezas y la exposición a altas temperaturas.
El transporte de materiales no siempre es necesario, puesto que los materiales de la zona suelen funcionar	Para transportar ladrillos se debe tener cuidado con el embalaje para mantener todas las piezas en buen estado, debe tenerse en cuenta costos de mantenimiento vehicular, fletes y peajes, transportar por Colombia resulta un 200% más costo que Europa (Dinero, 2015),
Para la fabricación de ladrillos prensados o adobe se realiza en una prensa manual, que comprime la mezcla de materiales, disminuyendo en gran medida la emisión de CO ₂ .	Su proceso de fabricación se realiza en hornos de túnel, a una temperatura entre los 900°C y los 1000°C, lo que emite una serie de gases (óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, entre otros) contaminantes para el medio ambiente.
Requiere de menos gasto de energía (alrededor	El investigador Ignacio Zabala estimó que para

Construcciones Vernáculas	Sistemas Tradicionales
<p>de 1% de la energía que requiere para fabricar un ladrillo convencional (GARCÍA, 2015).</p>	<p>la fabricación de un kilo de ladrillos se necesitan 3,56 Megajulios de energía primaria, 1,89L de agua, y emite 270 gramos de CO₂. (Álvarez, 2010)</p>
<p>Es un material que acabado su ciclo de vida útil puede ser devuelto a su lugar de procedencia de acuerdo a los aditivos usados. Es reciclable.</p>	<p>En la mayoría de casos los desechos producidos por la demolición de edificaciones construidas en ladrillo no son reutilizados puesto que ya ha perdido sus propiedades iniciales.</p>
<p>La extracción de la materia prima no atenta al medio ambiente en gran medida, puesto que puede usarse los residuos de excavaciones para fabricar los bloques. Si es el caso, se debe tener en cuenta la contaminación producida por la extracción de material con maquinaria.</p>	<p>Para la cocción de los ladrillos, es necesario madera, lo que conlleva a la deforestación, este mismo proceso produce los desechos y altas emisiones de gases contaminantes. La obtención de la materia prima es más rigurosa pues solo se necesita arcilla, lo que puede conducir a extraer material de zonas con biodiversidad variable.</p>
<p>Las construcciones en tierra tienen la capacidad de regular las condiciones internas de temperatura, pues absorben humedad cuando el tiempo es húmedo y lo libren cuando es seco, lo que asegura condiciones climáticas agradables.</p>	<p>El ladrillo convencional tiene una velocidad de absorción y liberación de humedad más rápido. Logra mantener la temperatura interna de una vivienda, una desventaja en zonas calurosas. Suelen recubrirse con materiales plásticos para mejorar su aspecto, lo que disminuye su capacidad de regular la temperatura interna.</p>
<p>La tierra, no transporta las ondas acústicas, lo que hace que estos materiales sean un excelente aislante acústico.</p>	<p>La NTC 4205-2 no hace estudios para determinar los decibeles que los ladrillos pueden controlar.</p>
<p>La producción y uso de estos materiales no generan daño a la salud.</p>	<p>El uso de estos ladrillos no genera afecciones para la salud, su problema se encuentra en el método de fabricación altamente contaminante.</p>

Capítulo 4. Rol del interventor en el desarrollo de labores de rehabilitación y mantenimiento de edificaciones en tierra

La Tierra se ha utilizado ampliamente como material de construcción desde la antigüedad, como material de construcción natural y sostenible, la tierra tiene las ventajas de una baja energía incorporada, amortiguación de la humedad natural, baja emisión de CO₂, alta reciclabilidad y buena inercia térmica. En la actualidad, hay muchos edificios de tierra en muchos países, y aproximadamente una cuarta parte de la población mundial vive en viviendas construidas con tierra cruda, lo que demuestra que la importancia de la construcción con tierra sigue siendo muy alta en todo el mundo. La tierra se puede utilizar como material de construcción para muros de muchas formas, como bloques de tierra y tierra apisonada. Sin embargo, existen algunas propiedades indeseables, tales como baja estabilidad dimensional, baja resistencia, comportamiento frágil, erosión debida al viento o la lluvia, y especialmente, baja resistencia a acciones dinámicas, estos inconvenientes se pueden reducir o eliminar estabilizando el suelo con aditivos estabilizadores como cemento y cal. Entre estos aditivos estabilizantes, el cemento es rentable y respetuoso con el medio ambiente.

4.1 Funciones y responsabilidades del interventor

El interventor y personal relacionado a la ejecución y control a realizar durante el desarrollo de las obras en tierra, deberá garantizar la formación y normativa vigente aplicable a edificaciones construidas en tapia pisada, con el fin de ser aplicable durante el desarrollo del proyecto y estar capacitados con criterios técnicos. Adicionalmente debe poder Verificar que los

estudios, diseños y planos cumplan con las especificaciones y condiciones actuales del proyecto, las normas y aprobación de los estudios, diseños y planos requeridos en la vigencia de la ejecución de la obra.

Adicionalmente se deberán realizar ensayos de caracterización del suelo con el fin de garantizar la calidad de los materiales utilizados y muros terminados, garantizando que se encuentren dentro de los parámetros establecidos y tolerancias durante la ejecución de los elementos estructurales construidos con tapia pisada. En el caso donde se halle una “no conformidad”, se debe realizar las modificaciones necesarias, en donde el interventor estará en la facultad de exigir una acción correctiva, y de no ser corregida por parte del ejecutor, será responsabilidad del contratista o ejecutor de la obra, y se iniciara un proceso de incumplimiento, mediante requerimiento por escrito y entregado a las entidades competentes o dueños del proyecto.

4.2 Control de Materiales

La compactación del suelo húmedo, a menudo combinada con 4-10% de estabilización de cemento, mejora significativamente la resistencia a la compresión y la resistencia al agua en comparación con los bloques de adobe tradicionales. La estabilidad dimensional y las tolerancias también se mejoran mucho, lo que permite procedimientos de construcción similares a la mampostería de bloques de concreto y arcilla cocida, en lugar del método de moldeado a mano húmedo que se usa generalmente para adobe.

Las pruebas de resistencia de control de calidad de los bloques de tierra comprimida a menudo se han seguido los procedimientos desarrollados para las unidades de bloques de hormigón y arcilla cocida. Sin embargo, la idoneidad de estos procedimientos no ha sido comprobada en gran medida por estudios científicos. La resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida puede ser muchas veces menor que la de los ladrillos cocidos similares. La resistencia también se ve significativamente influenciada por el contenido de humedad (Medina y Medina, 2011).

Se deberá realizar con medidor de humedad, pero usualmente en obra, se toma una muestra del material a utilizar de 1 o 2 kg de la misma y se realiza un ensayo Proctor a la muestra, del cual nos indicará el porcentaje de humedad, el cual para determinar una tapia óptima el porcentaje de humedad deberá estar muy cercano al 12% para muros en tapia pisada.

Para la realización del ensayo de densidad en muros construidos con tapia pisada ya construidos, se deberá realizar para ensayos no destructivos, utilizando un equipo especial (esclerómetro), mediante el cual se determine la densidad relativa en el muro apisonado, y deberá estar entre 1.8 y 2 toneladas por M³, para muros en tapia pisada.

5. Conclusiones

La arquitectura vernácula es una construcción humana que resulta de las interrelaciones entre factores ecológicos, económicos, materiales, políticos y sociales. A lo largo de la historia, se emplearon en todo el mundo muchas técnicas y materiales vernáculos moldeados por la cultura local, el clima y la ubicación geográfica. Así mismo, la tierra se ha utilizado como material de construcción desde hace muchos años, por ser un material de bajo costo, disponible en casi todas partes, reciclable, incombustible y que proporciona un buen aislamiento térmico y acústico, razón por la cual hoy en día, más de la mitad de la población mundial todavía vive en casas de tierra y, en los países industrializados, en las últimas décadas ha surgido un resurgimiento de este tipo de construcción debido a preocupaciones energéticas y medioambientales, sumado a un creciente interés por la arquitectura de este tipo de construcciones.

Las edificaciones de Tapia, Bahareque y Adobe, que son los principales tipos de sistemas vernaculares presentes en el municipio de Ocaña y la región, son estructuras de tierra sin procesar disponible localmente como material de construcción básico, y últimamente se ha generado un interés sustancial en las construcciones de tierra debido a su baja energía incorporada, impacto mínimo en el medio ambiente y su capacidad para proporcionar una mejor comodidad a los ocupantes. Se ha encontrado que varias prácticas de construcción de tierra incorporan alta energía incorporada debido a la adopción de tecnologías similares a las técnicas de construcción modernas. En este sentido, y dada la pertinencia que tienen estas edificaciones a la luz de la necesidad de establecer métodos alternativos para la construcción que reduzcan el

impacto ambiental generado, es pertinente el desarrollo de instructivos o manuales que propendan por el desarrollo de procesos constructivos de edificaciones en tierra.

Adicionalmente, el proceso de interventoría tiene como finalidad desarrollar un seguimiento técnico al cumplimiento del contrato para establecer como se ejecutara la obra y poder adoptar unas estrategias para controlar los trabajos desarrollados. En este sentido, y orientados a las construcciones en tierra, esta monografía realizo un análisis de los sistemas de construcción tradicional y vernacular, puntualizando proyectos desarrollados en las últimas décadas con métodos constructivos como el adobe, la tierra apisonada, tierra comprimida, tapia, entre otras técnicas que en la actualidad comienza a adquirir relevancia dada la preocupación global por el cambio climático y el desarrollo de políticas entorno a la construcción sostenible.

Las construcciones vernáculos constituyen una alternativa sostenible frente a los problemas generados por el desarrollo industrial, la combinación de características adecuadas de diseño sostenible y medidas de eficiencia energética logran una reducción considerable de los recursos. Las aplicaciones de las técnicas y materiales vernáculos han demostrado ser opciones sostenibles para los edificios a través de su rendimiento energético, medioambiental y térmico mejorado. Por lo cual es necesario tecnificar el proceso constructivo y llevar a cabo procedimientos de control y supervisión propios de un interventor de obra, para llevar a cabo la rehabilitación y mantenimiento de estas edificaciones que en muchos casos constituyen patrimonio de la humanidad.

Referencias

- Acero Matallana, E. (2012). *Aproximación al comportamiento estructural de edificaciones en tierra de la arquitectura colonial. Consideraciones para el inventario de bienes del Ministerio de Cultura y la norma de sismo resistencia Colombiana.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Baca, L. F. G. (2020). El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe. *Intervención*, 2(22), 131-187.
- Bestraten Castells, S. C., Hormias Laperal, E., & Altemir Montaner, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 63(523), 41-50.
- Braga, A. M. G. S., & Graça, A. T. (2012). Análisis de las construcciones en tierra cruda en el Algarve. In XI CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE EL ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE TIERRA. XI CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE EL ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE TIERRA.
- Cabrera, S. P., Aranda-Jiménez, Y. G., Suárez-Domínguez, E. J., & Rotondaro, R. (2020). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. *Hábitat Sustentable*, 70-81.
- Cabrera, S., González, A., & Rotondaro, R. (2020). Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo. *Informes de la Construcción*, 72(560), e360-e360.

- Calderón Peñafiel, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. (Tesis de Maestría). Universidad Politecnica de Cataluña. España.
- Castillo Paz, Y. N., & Nieves Silva, J. P. (2018). *Propuesta de proceso constructivo de tierra armada con geotextiles en muros de contención para estabilización de taludes en Playa La Encontrada–Cañete 2016*. (Tesis de Pregrado). Universidad Pedagógica Colombiana.
- Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169.
- Congreso de Colombia. (Agosto de 1997). Por la cual se desarrollan los Artículos 70, 71 y 72 y demás Artículos concordantes de la Constitución Política y se dictan normas sobre patrimonio cultural, fomentos y estímulos a la cultura, se crea el Ministerio de la Cultura y se trasladan algunas dependencias. [Ley 397 de 1997]. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=337>
- Congreso de Colombia. (Marzo de 2008). por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 –Ley General de Cultura– y se dictan otras disposiciones. [Ley 1185 de 2008].
Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=29324#:~:text=Esta%20ley%20define%20un%20r%C3%A9gimen,la%20Lista%20Representativa%20de%20Patrimonio>
- Crespo, I. J. G. (2014). El lenguaje vernáculo de las ventanas tradicionales canarias: antecedentes, tipología y funcionamiento bioclimático. *Anuario de estudios Atlánticos*, (60), 817-858.
- Estensoro Saavedra, F. (2010). Crisis ambiental y cambio climático en la política global: un tema crecientemente complejo para América Latina. *Universum (Talca)*, 25(2), 57-77.

- Font, F., & Hidalgo, P. (2011). La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos. *Informes de la Construcción*, 63(523), 21-34.
- Fuentes García, R. M. (2010). *Construcciones de tierra. El Tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de" TIERRA PROYECTADA"*. (Disertacion Doctoral). Universidad de Granada.
- Garzón, J. M., Miranda, J. P. R., & Gómez, C. H. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*, 19(2), 309-318.
- Garzón, L. E. (2019). Transferir tecnología vs. Transferir conocimientos en la arquitectura y construcción con tierra. *Revista nodo*, 12(23), 62-72.
- Gil, J. P. (2018). Un marco teórico y metodológico para la arquitectura vernácula. Ciudades: *Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, (21), 1-28.
- Giraldo, P. M. L. (2016) *Vivienda Vernácula en el Caribe Colombiano: Diversidad dentro de la Unidad*. (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar. Colombia.
- Guerrero, L. F., & Hastings, I. (2020). Transferencia de técnicas sostenibles de conservación para la construcción de viviendas de adobe en Ixtepec, Oaxaca, México. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism*, (1), 474-484.
- Gutiérrez, R. S. R., & Sánchez, D. P. G. (2015). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. Contexto. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11), 59-71.

- Hernandez, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, D. C. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197-220.
- Hoffmann, M., Minto, F. C. N., & Heise, A. F. (2011). Tapia. *Técnicas de construção com terra*, 46-61.
- Houben H., Guillaud H., Earth construction: a comprehensive guide. *Intermediate Technology Publications*, (1994), p.73.
- Jorquera, N. (2016). El uso de la tierra en ámbito urbano y sísmico El caso de la arquitectura tradicional de Santiago de Chile. *Revista A+ C*, 8(8).
- Lara, R. L. (2014). La historia ambiental una herramienta para el estudio de las construcciones vernáculas indígenas. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (2014_11).
- Larrotta Meza, M. E., & Roa Granada, M. R. (2020). *COBEPLAC construcciones en adobe para las comunidades de recursos limitados*. (Tesis de pregrado). Universidad La Gran Colombia. Bogota, Colombia.
- Lavid Saiz, A. (2017). *La barraca Valenciana. Aspectos climáticos y construcción tradicional*. (Disertacion Doctoral). Universitat Politècnica de València. España.
- Lizán Narro, P. (2018). *Construir en madera* (Disertacion Doctoral). Universitat Politècnica de València. España.
- Macías, M., & García Navarro, J. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 62(517), 87-100.
- Medina, K. T. A., & Medina, Ó. H. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Facultad de Ingeniería*, 20(31), 55-68.

- Muñoz Robledo, J. F. (2010). *Tipificación de los sistemas constructivos patrimoniales de “bahareque” en el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Manizales, Colombia.
- Pérez Gil, J. (2018). La arquitectura vernácula en los territorios de baja densidad: una perspectiva cultural. *A Obra Nasce: revista de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Fernando*, (13), 71-89.
- Pineda Uribe, J. C. (2017). *Características y patologías constructivas del bahareque tradicional en la vereda San Pedro del municipio de Anserma (Caldas)*. Escuela de Construcción. Universidad de la Rioja. España.
- Presidencia de la Republica. (Marzo de 2009). Por el cual se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material. [Decreto 763 de 2009]. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=35447>
- Rivera Torres, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164-181.
- Roa, G. Z. (2011). La arquitectura en tierra: Una alternativa para la construcción sostenible. *Hábitat sustentable*, 1(1), 35-39.
- Roux Gutiérrez, R. S., & Gallegos Sánchez, D. P. (2015). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. *Contexto*, 9(11), 59-71.

- Serrano Acuña, J. (2020). *Construcción en tierra en países de riesgo sísmico y reforzamiento sísmo resistente: estado del arte*. (Tesis de Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya. España.
- Silva Rojas, L. M., Vecino Torres, P. V., & Jiménez, H. J (2018). *La tapia pisada como técnica constructiva vernácula*. (Tesis de Especialización). Universidad Santo Tomas. Bucaramanga, Colombia.
- Tillería González, J. (2010). La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula. *Revista AUS*, 8, 12-15.
- Trigo Salas, T. A. (2015). *Estudio del comportamiento estructural de construcciones de tierra: La técnica constructiva Earthbag*. (Tesis de Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya. España.
- Vargas Díaz, L. (2016). *Determinación de propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, ladrillo y piedra en edificaciones históricas peruanas*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Villada Corrales, D., & Gordon Montoya, S. (2017). Evaluación de las propiedades mecánicas de muretes elaborados con bloques de tierra comprimida (BTC), como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira (Doctoral dissertation). Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia.
- Yeras, M. T. C. (2015). La arquitectura vernácula como importante manifestación de la cultura. *Arquitecturas del Sur*, 62-73.