

Investigación sobre la innovación y evolución del sistema constructivo de la tapia pisada en  
Barichara comparado con otros países en los últimos veinte años

Andrés Felipe Afanador Patiño

Julián Stward Salazar Salas

Escuela De Ingenierías

Facultad De Ingeniería Civil

2021

Investigación sobre la innovación y evolución del sistema constructivo de la tapia pisada en  
Barichara comparado con otros países en los últimos veinte años

Andrés Felipe Afanador Patiño

Julián Stward Salazar Salas

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero civil

Director del Proyecto:

Ingeniero Santiago Rivero Bolaños



Escuela De Ingenierías

Facultad De Ingeniería Civil

2021

## Tabla de contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo general .....	15
1.2 Objetivos específicos .....	15
2. Delimitación del problema .....	16
3. Antecedentes .....	16
Título: análisis del comportamiento físico mecánico de muros en tapia pisada con inclusión de biomasa residual .....	16
Título: la tapia pisada como técnica constructiva vernácula .....	17
Título: análisis del comportamiento estructural de la técnica vernácula de muros en tapia pisada con inclusión de caña brava .....	18
Título: Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada .....	19
Título: Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada .....	20
Título: Descripción del uso de la tapia pisada con Tierra estabilizada en Australia. ....	21
Título: Estudio de actuaciones de interiores de un edificio utilizando tierra apisonada .....	21
Título: Hormigón de tierra. Estabilización revisada.....	22

4. Marco teórico .....	23
5. Metodología .....	29
6. Investigación de innovaciones y evoluciones en los procesos constructivos de la tapia pisada en Diferentes países donde se ha implementado .....	30
6.1 Protocolo de la Revisión e Investigación Bibliográfica .....	30
6.1.1 Título de Revisión Bibliográfica.....	30
6.1.2 Definición del Concepto de Revisión Bibliográfica .....	30
6.1.3 Información del Protocolo.....	31
6.1.4 Objetivo de la Revisión Bibliográfica.....	32
6.1.5 Diseño y estrategia de Búsqueda.....	32
6.1.6 Puesta en Marcha de la Revisión .....	33
6.1.7 Resultados de la Búsqueda y Revisión.....	34
6.2 Concepto General de la Tapia Pisada en el mundo .....	36
6.3 Ventajas y Desventajas del método Constructivo .....	39
6.3.1 Ventajas.....	39
6.3.2 Desventajas .....	40
6.4 Resultados de la Identificación de Procesos constructivos en otros países.....	41
7. Proceso constructivo de la Tapia Pisada en el Municipio de Barichara .....	49
7.1 Herramientas y Materiales utilizados en el Municipio de Barichara .....	55
7.1.1 Formaleta y Herramientas .....	55

7.1.2 Material Tierra .....	61
7.2 Sistemas de Reforzamientos Estructurales .....	62
7.3 Componentes Administrativos .....	63
8. Proceso constructivo de la Tapia Pisada en otros países.....	67
8.1 Herramientas y Materiales Utilizados en otros países.....	78
8.1.1 Formaleta y Herramientas .....	79
8.1.2 Material Tierra .....	80
8.2 Sistemas de Reforzamientos Estructurales .....	82
8.3 Componentes Administrativos .....	84
9. Comparativo Evolución e Innovación en otros países Vs. Barichara .....	85
Conclusiones .....	88
Recomendaciones.....	92
Bibliografía .....	94
Apéndices.....	100

**Listado de Tablas**

Tabla 1 Descripción de Procesos Constructivos En el Mundo	41
---	----

## Listado de Figuras

Figura 1. Construcción de Muro en tapia Pisada	26
Figura 2. Estructura del Tapial	26
Figura 3. Partes de Un Tapial	27
Figura 4. Metodología	29
Figura 5. Resultados de la Búsqueda	35
Figura 6. País Publicación de Artículos	36
Figura 7 Casas de Modelado Directo en Camerún	38
Figura 8 Torre Muza, España	39
Figura 9 Resultado Técnica Tapia Pisada Australia	49
Figura 10. Piedra Barichara Material Constructivo	50
Figura 11. Técnica Tapia Pisada Postura Formaleta	52
Figura 12. Diseño de muro Técnica Tapia Pisada	53
Figura 13. Cimientos Tapia Pisada	54
Figura 14. Cimientos Tapia Pisada	54
Figura 15. Hojas o Paneles de Madera del Tapial.	56
Figura 16. Postura Agujas Metálicas	56
Figura 17. Agujas de Madera	57
Figura 18. Parales Tapial	58
Figura 19. Diferentes Tipos de Pisón	59
Figura 20. Herramientas y Materiales para Construcción en Tapia Pisada.	60
Figura 21. Otras Herramientas y Materiales para Construcción en Tapia Pisada.	60

Figura 22. Muestra construcciones Maestro Ivan Ramírez	64
Figura 23. Casa de Dos pisos Construcción Maestro Ivan Ramírez	65
Figura 24. Construcción Maestro Ivan Ramírez	65
Figura 25. Muestra Construcciones Maestro Ivan Ramírez	66
Figura 26. Construcción en Tierra a Nivel Mundial	68
Figura 27. Procesos En Fábrica de Muros de Tapia Pisada	70
Figura 28. Oficinas imprenta Gugler print&media. Prefabricación muros de Tapia	71
Figura 29. Casa Rauch Austria. Construcción con herramientas mecánicas y neumáticas.	73
Figura 30. Sistema de Tapia Aislada NK'MIP Centro interpretativo del desierto, Canadá.	74
Figura 31. Sistema de Post-Tensado en Tapia	75
Figura 32. Back 40 House. Sistema Post Tensado.	76
Figura 33. Diseño Inclusión dispersores Sísmicos	77
Figura 34. Centro de Ecología aplicada, Chile, con Inclusión de dispersores sísmicos en tapia pisada.	78
Figura 35. Algunos Ejemplos de Equipos y Herramientas utilizadas en el mundo	79
Figura 36. Algunos Ejemplos de Equipos y Herramientas utilizadas en el mundo	80
Figura 37. Materiales utilizados en algunos lugares el mundo.	81

## **Listado de Apéndices**

Apéndice A. Entrevista Maestro Ivan Ramirez.....	104
Apéndice B. Entrevista Maestro Nilson Suarez.....	108
Apéndice C. Entrevista Maestro Francisco Bayona.....	112
Apéndice D. Material Fotográfico Construcciones Maestro Ivan Ramirez.....	115
Apéndice E. Material Fotográfico Construcciones Maestro Nilson Suarez.....	118
Apéndice F. Material Fotográfico Construcciones Maestro Francisco Bayona.....	119

## Resumen

### RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** INVESTIGACIÓN SOBRE LA INNOVACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LA TAPIA PISADA EN BARICHARA COMPARADO CON OTROS PAÍSES EN LOS ÚLTIMOS VEINTE AÑOS

**AUTOR(ES):** ANDRES FELIPE AFANADOR PATIÑO  
JULIAN STWARD SALAZAR SALAS

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** SANTIAGO RIVERO BOLAÑOS

### RESUMEN

El sistema constructivo de tapia pisada, cuyos conocimientos se han transmitido empíricamente de generación en generación. En este sistema constructivo el elemento clave es la tierra, que ha sido uno de los materiales con mayor antigüedad conocida para la construcción. Mientras que en Barichara se dieron unas circunstancias particulares para que se mantuviera la técnica, en el resto de Colombia y en el mundo, avances tecnológicos y la industrialización que se mostraron como paradigma de bienestar, confort, desarrollo y modernidad relegaron a las técnicas de construcción con tierra al olvido, pues se consideraban sinónimo de pobreza y atraso. Esta visión moderna que abordar la vivienda a partir de materiales industriales y producidos bajo estándares de calidad, si bien es cierto, aportaron a la solución en algunos contextos, no fueron la solución a todo. Por lo que, en las últimas dos décadas, los grupos de investigación establecidos en Europa y Estados Unidos comenzaron a reflexionar sobre cómo se está construyendo, a qué precio y con qué impacto. Este estudio pretende investigar y recopilar las innovaciones y evoluciones en el proceso constructivo que se han desarrollado en los últimos 20 años en aquellos países donde la construcción con tapia pisada tomó auge a partir de la reflexión del bajo impacto ambiental: Estados Unidos, Francia, España, Australia. También en otros países de América Latina donde ha habido desarrollo, pero con motivaciones diferentes a las del impacto ambiental. La idea es tomar estas experiencias como referentes y puntos de comparación con la innovación y evolución de la tapia pisada en el municipio de Barichara, lugar donde más se construye con tierra en Colombia desde hace unos 20 años. Al final se presenta una tabla comparativa de diferentes aspectos entre la tapia pisada ejecutada en Barichara y la tapia pisada en otros países.

### PALABRAS CLAVE:

Barichara, Construcción, Técnica, Tierra, Tapia, Apisonada, Sistema

### V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **Abstract**

### **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** RESEARCH ON THE INNOVATION AND EVOLUTION OF THE CONSTRUCTION SYSTEM OF THE TAPIA PISADA IN BARICHARA COMPARED TO OTHER COUNTRIES IN THE LAST TWENTY YEARS

**AUTHOR(S):** ANDRES FELIPE AFANADOR PATIÑO  
JULIAN STWARD SALAZAR SALAS

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** SANTIAGO RIVERO BOLAÑOS

### **ABSTRACT**

The construction system of tread wall, whose knowledge has been transmitted empirically from generation to generation. In this construction system, the key element is earth, which has been one of the oldest known materials for construction. While in Barichara there were particular circumstances for the technique to be maintained, in the rest of Colombia and in the world, technological advances and industrialization that were shown as a paradigm of well-being, comfort, development and modernity relegated to construction techniques with land forgotten, as they were considered synonymous with poverty and backwardness. This modern vision of approaching housing from industrial materials and produced under quality standards, although it is true, contributed to the solution in some contexts, they were not the solution to everything. So in the last two decades, research groups established in Europe and the United States began to reflect on how it is being built, at what price and with what impact. This study aims to investigate and compile the innovations and evolutions in the construction process that have been developed in the last 20 years in those countries where construction with tread walls took off from the reflection of the low environmental impact: United States, France, Spain , Australia. Also in other Latin American countries where there has been development but with motivations other than environmental impact. The idea is to take these experiences as benchmarks and points of comparison with the innovation and evolution of the tread wall in the municipality of Barichara, the place where more has been built with earth in Colombia for about 20 years. At the end, a comparative table of different aspects between the tread wall executed in Barichara and the tread wall in other countries is presented.

### **KEYWORDS:**

Barichara, Construction, Technique, Earth, Wall, Tamping, System

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## Introducción

En Colombia como en varios lugares del mundo, existen limitantes y vacíos normativos a cerca de los sistemas constructivos en tierra. Para el caso de la construcción con el sistema constructivo de tapia pisada, se identifica un limitado interés por parte de instituciones educativas, investigativas y gubernamentales por el desarrollo de proyectos y estudios que conlleven a la difusión de conocimientos y a la apropiación de saberes sobre sus sistemas estructurales y sismo resistente. Esto ha conducido a que los avances e innovaciones en la técnica de tapia pisada sean pocos y contrastan con el gran volumen de nuevas construcciones e intervenciones que se dan en Barichara. Se estima que al año se mueven cerca de 25mil millones de pesos y fácilmente se pasan los 15mil metros cuadrados construidos nuevos o intervenidos. Aunque no hay cifras estadísticas ni estudios, un sondeo entre los maestros de construcción entrevistados llevan a estas cifras, incluso de un modo conservador.

En otros países, entre los que se destacan Estados Unidos, Francia, España, Australia, se implementan innovaciones tecnológicas para hacer más eficiente el proceso, logra más rendimiento, mejorar la calidad para buscar efectos estéticos, mejores condiciones estructurales, bioclimáticas y de bienestar. El hecho de que en estos países la cultura constructiva se haya perdido, favoreció a la introducción de la tecnología, mientras que en el caso de Barichara, la cultura constructiva es su mayor potencial y al parecer, es una de las razones que han dificultado la introducción de tecnología e innovación. En otros países, los avances e innovaciones en la técnica constructiva de la tapia pisada han sido más notables, pues están aprovechando las bondades de la tierra, como su disponibilidad, comportamiento térmico, capacidad de mimetización con el paisaje, beneficios saludables para la población, eliminación de desechos y reducción de costos, obteniendo edificaciones visualmente impresionantes, fusionadas con

elementos contemporáneos con mayor avance tecnológico que les permite eliminar los inconvenientes de sistemas de reforzamiento y cargas estructurales.

El municipio de Barichara, Santander, ha sido un referente nacional en cuanto al uso de la técnica constructiva en tapia pisada, llegando inclusive a ser declarado, en parte, patrimonio cultural de la nación, pero en comparación con el nivel de evolución de otros lugares del mundo se ha que dado rezagado, pues no se evidencia innovación en materiales, herramientas o elementos estructurales, debido quizá, a la mentalidad tradicionalista que se niega a incursionar en los avances tecnológicos, basando sus procesos solo en los conocimientos ancestrales.

Existen muchos factores influyentes en la evolución de este sistema constructivo que deben ser conocidos por los arquitectos y maestros tapieros de la región, para que la técnica no pierda su esencia siendo marginada, sino que se adquieran nuevos procesos constructivos manteniendo vivas las tradiciones pero imprimiéndoles un mejoramiento técnico.

A través de este trabajo investigativo se pretende evidenciar cuales son los motivos por los cuales el sistema constructivo de tapia pisada en Barichara no ha logrado identificar esos factores importantes para el avance y desarrollo de sus técnicas, a través de una exhaustiva revisión bibliográfica que permita el estudio de experiencias en el manejo de este sistema en varias regiones del mundo, identificando sus innovaciones en incursión de materiales alternativos y factibles para la conservación de la técnica, uso de herramientas tecnológicas y avance en el desarrollo del proceso constructivo, que han hecho de la técnica una opción de construcción sostenible y económica, enlazándola con las tendencias constructivas contemporáneas.

Para este estudio se eligió el municipio de Barichara, debido a que es el lugar del país donde la técnica está vigente y se pueden hacer observaciones y estudios con evidencia real, apreciar la

grandeza y bondades de la técnica y proponer posibles mejoras que influyan en la evolución y uso del sistema como alternativa de construcción sostenible para el país.

Esta investigación se inicia con la exposición de las generalidades como son los objetivos y la presentación del problema, que delimitan el alcance de este trabajo; los antecedentes y el marco teórico que contienen los precedentes y conceptos que convergerán en el documento, junto con la metodología empleada para la esquematización del trabajo; el desarrollo de la investigación, se realizó en cuatro fases, donde la primera actividad fue la revisión bibliográfica, realizando investigación de las innovaciones y evoluciones de los procesos constructivos de la tapia pisada en diferentes países que se han lanzado a retomar la técnica de la tapia pisada aplicando innovación y mejoramiento, definiendo un concepto general y describiendo procesos constructivos. La segunda fase constó de la descripción del proceso constructivo en Barichara a través de entrevistas a los maestros tapieros de la región y recopilación de material fotográfico. En la tercera fase se gestionó la descripción de los diferentes procesos constructivos que se realizan en algunos países del mundo donde se utiliza la tapia pisada, en cuanto a materiales, herramientas, equipos y elementos estructurales, para finalmente presentar un análisis comparativo del nivel de innovación de la técnica en Barichara frente a los avances logrados en algunas regiones del mundo, exponiendo los motivos por los cuales no ha tenido cambios significativos y proponiendo recomendaciones tendientes a implementar innovaciones que se puedan aplicar en el caso de Barichara.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Estimar la evolución e innovación de la tapia pisada en los últimos veinte años en diferentes países del mundo donde se ha retomado el trabajo con este método constructivo, comparado con el desarrollo en el mismo período, de dicho método en el municipio de Barichara, departamento de Santander Colombia, uno de los lugares donde la construcción con tapia pisada es activa y vigente.

### 1.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre las innovaciones y evoluciones en los procesos constructivos de la tapia pisada en diferentes partes del mundo en los ámbitos de mejoramiento del material , herramientas y reforzamiento sismo resistente, por medio de una revisión bibliográfica con el fin de reforzar la información que hay actualmente sobre este método constructivo.

- Identificar y definir el proceso constructivo de la tapia pisada que se desarrolla en la actualidad en el municipio de Barichara Santander, en los ámbitos de materiales, herramientas y reforzamiento sismo resistente, identificando las innovaciones y nuevos desarrollos en el proceso constructivo implementados en los últimos veinte años.

- Realizar una comparación entre el proceso de la tapia pisada efectuada en otros países, comparado con el actual en Barichara Santander, en los ámbitos de materiales, herramientas y reforzamiento sismo resistente, esto se hará con la información obtenida por la revisión bibliográfica y el acercamiento virtual con los tapieros, lo cual servirá para identificar las diferencias entre los métodos nacionales e internacionales y con ellas incentivar innovaciones al método constructivo actual.

## **2. Delimitación del problema**

A pesar de que el municipio de Barichara Santander es potencia en la construcción en tierra y sobre todo en un método como la tapia pisada, donde se observa un mercado inmobiliario de oferta y demanda muy activo y que es uno de los lugares donde más se construye en tierra en Latinoamérica, se puede identificar que no se han implementado avances importantes en los últimos veinte años, tanto en herramientas, materiales y reforzamientos sismo resistentes, pues se sigue manejando los mismos procesos constructivos que dejaron los ancestros. En otros países se identifica un gran desarrollo, evolución e innovación relacionado con nuevas herramientas, sistemas de reforzamiento y mejoramiento en las condiciones del material tierra para mejorar las propiedades sismo resistentes en la estructura y mejoramiento en la arquitectura. Por lo tanto, se desea investigar sobre que está sucediendo en la actualidad en diferentes lugares del mundo sobre la tapia pisada y su desarrollo en los últimos veinte años y comparar con el desarrollo y el avance que se ha tenido en el municipio de Barichara Santander en el mismo lapso.

## **3. Antecedentes**

**Título: análisis del comportamiento físico mecánico de muros en tapia pisada con inclusión de biomasa residual**

**Tipo de documento: tesis de pregrado presentado en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga en el año 2018**

**Autor(es): María Fernanda Nardez Giraldo**

En palabras de la construcción de viviendas en Colombia, con el método de la tapia pisada, se ha llevado a cabo desde nuestros ancestros y es una alternativa viable que nos ayuda a disminuir el consumo de energía, que comparado con otros sistemas de construcción el ahorro de energía es inminente, estamos hablando de un 35% según la UPME; con la tapia pisada no sucede esto, puesto que tiene grandes propiedades como la absorción que logra contener humedad y disminuye dicho porcentaje de pérdida.

Revisando el presupuesto que se lleva a cabo para construir una vivienda de tipo normal, con mampostería de ladrillo, la tapia pisada nos ayuda en el ahorro de dinero y también en el gasto de energía para la elaboración de dichos materiales, puesto que para elaborar ladrillos se debe gastar energía en la cocción de éstos y también en el transporte. La tapia es un método en el que la materia prima para levantar el muro proviene del mismo sitio, por lo tanto el ahorro en costos y en consumo de energía por producción del material y el levantamiento de los muros es considerable. . Por otra parte, la tapia utiliza herramientas menores, como la pica, la pala, el pison, tablas y niveles, donde no debemos batir mezcla de concreto y esto también ayuda con el ahorro de energía. (Nardez Giraldo, 2018)

**Título: la tapia pisada como técnica constructiva vernácula**

**Tipo de documento:**

**Trabajo de grado para optar título de especialista de interventoría y supervisión de la construcción en la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga en el año 2018.**

**Autor(es): Luis Miguel Silva Rojas; Pedro Vicente Vecino Torres; Hender José Jiménez**

Así mismo, el aprendizaje de la técnica de la tapia pisada se ha llevado a cabo por medio de nuestros ancestros, que han promovido esto para enseñar una manera fácil de construir y sin

importar que se hallen personas estudiadas en el tema, todavía falta mucho por aprender sobre este método. Usualmente se cree que se construye por este medio porque es más fácil, pero debemos tener en cuenta otros factores como el ahorro de energía, la disminución de costos y el poder generar una cultura para las generaciones siguientes. Con la industrialización, las técnicas de construcción en tierra se han ido olvidando pero en municipios como Barichara Santander, esta técnica ha sobrevivido por los legados ancestrales y por qué el sistema constructivo le ha catalogado reconocimientos nacionales. (Silva Rojas, Vecino Torres, & Jimenez, 2018).

La tapia pisada en Colombia no se ha reconocido fundamentalmente para construcción de viviendas por que requiere de mayores elementos sismo resistentes que se adapten a todos los tipos de topografía y a las normatividades vigentes colombianas respecto al tema.

**Título: análisis del comportamiento estructural de la técnica vernácula de muros en tapia pisada con inclusión de caña brava**

**Tipo de documento:**

**Tesis de pregrado Presentado en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga en el año 2018**

**Autor(es): Brayan Steve Núñez Romero; Cristian Andrés Mejía Parada**

La humedad de la tierra es algo fundamental en el proceso de la tapia pisada, debido a que, si se agrega más agua de la indicada, se puede llegar a tener una mezcla no óptima para el manejo en obra. Cuando se construye un muro de tapia pisada en un terreno donde la temperatura sea alta, debemos tener en cuenta que la humedad debe ser controlada para no tener el fenómeno de

contracción y esto se debe a que cuando está en proceso de curado, no se tiene cuidado a humedecer un poco la pared.

La selección del material para trabajar con la tapia pisada, debe ser fundamental en el proceso, ya que debemos tener un porcentaje de gravilla, arena, limos y arcillas balanceados, pues esto da a la estructura una mejor resistencia y ayuda a la mezcla a dar mejores propiedades físico mecánicas. (Nuñez Romero & Mejia Parada, 2018)

### **Título: Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada**

**Tipo de documento: Artículo**

**Autor(es): Nelson Afanador García; Mayerly Carrascal Delgado; Marvin Joseph Bayona**

#### **Chinchilla**

Según el documento de estos autores “la normativa de construcción vigente para Colombia (NSR-10) no considera los muros en tapia pisada elementos de resistencia sísmica” (Afanador Garcia, Carrascal Delgado, & Bayona Chinchilla, pág. 57) , ya que indican que las construcciones con esta técnica no son vulnerables por acciones gravitacionales pero si sísmicamente (Afanador Garcia, Carrascal Delgado, & Bayona Chinchilla).

La tapia pisada al ser un método de construcción hecho con tierra, paja y madera, se puede decir que tiene un comportamiento no lineal e inelástico; esto se revisa en ensayos como compresión y tracción lineal, donde nos determina que los muros construidos por este método no tienden a comportarse elásticamente y por esto tenemos tantas grietas a la hora de existir un sismo.

Este proceso de la tapia pisada, se hace de manera empírica en muchos lugares, por esto se debe utilizar herramienta mecánica, que asegure su compactación indicada y que la altura de los golpes sea la ideal, tanto en peso como en distancia; también se debe tener en cuenta que para este método se debe hacer por medio de capaz y que no sean mayores a 12 cm de altura.

(Afanador Garcia, Carrascal Delgado, & Bayona Chinchilla)

**Título: Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada**

**Tipo de documento: Artículo**

**Autor(es): Luis Eduardo Yamin Lacouture; Camilo Phillips Bernal; Juan Carlos Reyes Ortiz; Daniel Ruiz Valencia**

La tapia pisada tiene una factibilidad a no ser compatible con un sismo, debido a que no presenta una resistencia a flexión y tensión en un orden de 0.03 MPa y carece de muchas características constructivas que se presentan en un muro convencional como, la ausencia de diafragmas rígidos y también la continuación de materiales fundamentales para la finalización del muro, ya que este se hace por etapas.

El reforzamiento de la tapia pisada ha mejorado más con la madera que con la malla vena, puesto que ayudó a dar refuerzo en la deformación no lineal y esto ayuda a que se tenga más porcentaje de desempeño ante una actividad sísmica. Esto se debe terminar de comprobar por medio de ensayo en la mesa vibratoria y revisando los resultados a profundidad.

Al revisar los modelos de viviendas con y sin reforzamiento, se pudo observar que la que no fue reforzada tuvo grietas mayores y contundentes, dejando claro que los refuerzos en la mezcla ayudan con la resistencia y la adherencia del material, dando una mejor compactación a la hora

de realizar el proceso constructivo. (Yamin Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007)

**Título: Descripción del uso de la tapia pisada con Tierra estabilizada en Australia.**

**Tipo de documento: artículo, Australia 2019**

**Autor(es): Rodrigo Amaral do Prado Rocha y Pedro Henrique Melo de Oliveira.**

En este documento se puede observar la importancia que tiene el Sistema constructivo de la tapia pisada en Australia, donde al pasar las décadas se han presentado diversas innovaciones y avances destacados en cuanto a la ejecución de obras en este tipo de Sistema constructivo. Específicamente el artículo se centra en las investigaciones y prácticas que ha llevado a cabo una empresa en Melbourne, Estado de Victoria. Dicha empresa emplea unas diferencias que hay en la versión “original” australiana y la versión tradicional de la construcción de tapia pisada.

También, se resalta la historia de dicho Sistema constructivo, donde resalta que Australia fue uno de los primeros países en el mundo en crear unas normas constructivas para construcciones en tierra, refiriéndose al adobe, BTC y tapia pisada.

El método de construcción australiano de la tapia pisada se destaca por los mejoramientos que se ha tenido el sistema constructivo en cuanto a la estabilización de la tierra por medio del cemento y el uso del trabamiento horizontal. Además de innovación en la creación de formaletas en madera, agregándoles un esqueleto metálico. Entre otras cosas la ayuda de diferentes industrias de la construcción, como las empresas que trabajan en pavimentos, las cuales suministran diferentes tipos de agregados como tipos de grava, arcilla arenosa y diferentes granulometrías entre otras. (Prado Rocha & Melo Oliveira, 2019)

**Título: Estudio de actuaciones de interiores de un edificio utilizando tierra apisonada**

**Tipo de documento: artículo, 2018, Marruecos**

**Autor(es):** Wiçal CHEIKHI, Khadija BABA, Sidi Mohamed LAMRANI, Abderrahmane NOUNAH, Mohamed KHALFAOUI, Lahcen BAHI.

Este artículo habla sobre una investigación hecha en la ciudad de Marrakech (Marruecos), donde presentan comparaciones entre edificaciones de tierra apisonada y obras convencionales, siendo la tierra un material ecológico con propiedades térmicas que reducen los recursos de climatización y calefacción los cuales aumentan el consumo de energía.

Las edificaciones en las que se hace la comparación tienen dos pisos y un espacio interior bastante amplio, con una muy buena estética interior y exterior, una hecha totalmente en hormigón y mampostería, la otra edificación es en tapia pisada. Al hacer las comparaciones térmicas de las estructuras, se concluye que las edificaciones en tierra son una opción sostenible en cuanto al confort térmico al interior cuando las construcciones son en lugares cálidos y al utilizarse la técnica en lugares fríos, se deben tener en cuenta factores como la energía que se gasta para adecuar el sitio, ya que la inercia que posee en temperatura es mayor a la mampostería. (CHEIKHI, y otros, 2018)

**Título:** Hormigón de tierra. Estabilización revisada

**Tipo de documento:** artículo, 2017, del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Cambridge, MA, EE. UU.

**Autor(es):** Henri Van Damme, Hugo Houben

El artículo se basa en la utilización de tierra como componente principal para hormigones. En construcciones durante Miles de años. Más del 10% de los bienes en el patrimonio mundial incorporan estructuras de tierra que proporcionan ventajas ambientales, no es tóxico, no contamina, la sensación táctil es más cálida que la del hormigón.

La tierra es un implemento que enfrenta grandes retos ya que tiene un uso limitado en las construcciones modernas, los ingenieros tienen poco conocimiento sobre este tema, es una técnica laboriosa y no es considerada una estructura sólida como el hormigón.

El tipo de suelo y las condiciones climáticas son los principales puntos para considerar construir en tierra. Las propiedades físicas representan el factor más crítico. Estas propiedades son: la resistencia a la compresión, textura, plasticidad, compactibilidad y cohesión. Hay cantidad de lugares donde se utiliza la tierra como lo son: el zarzo y barro, tierra apisonada, adobe o ladrillos moldeados, bloques de tierra comprimida, para poder llevar a cabo la edificación de la vivienda es necesario utilizar los estabilizadores esto para mejorar la fuerza, la resistencia a erosión. (Van Damme & Houben, 2017)

#### **4. Marco teórico**

Desde el inicio de la civilización el hombre ha utilizado los materiales del lugar con el fin de construir diferentes estructuras. En diferentes partes del mundo se puede observar el uso de tierra pisada con propósitos de construir edificaciones como, casas, muros, templos y muchos más. (La tapia pisada una técnica ancestral , s.f)

La tapia pisada fue traída por los españoles durante la conquista y se utilizó en la colonia para la construcción de viviendas para los conquistadores y se implementó en Colombia hasta la primera mitad del siglo 20. Durante la colonización en Colombia, se pudo evidenciar la construcción de templos y viviendas, donde dejó una base para el desarrollo de la tapia pisada en el país.

En el mundo y en el caso de Colombia en la primera mitad del siglo 20 la construcción con tierra y específicamente la tapia pisada entró en desuso por la introducción de nuevos materiales y sistemas constructivos de carácter industrial que podía responder de una manera más eficiente en

la construcción de viviendas masivas en la ciudad y eso hizo que la construcción con tapia pisada fuera dejada de un lado porque fue estigmatizada como sinónimo de atraso y de pobreza. Además, la mitad del siglo XX se caracterizó por la urbanización del territorio motivado por la violencia política que arremetía en las poblaciones apartadas y en el sector rural. La construcción con tapia pisada estaba asociado a aquello de lo que se huía, de lo que se dejaba. Los nuevos horizontes en las ciudades estaban levantados de ladrillo y cemento.

Actualmente, en el mundo la construcción con tierra (de la cual hace parte la tapia pisada) está tomando fuerza porque se ha identificado que es un material de bajo impacto ambiental, porque las personas lo relacionan con una vida sana y porque ofrece una alternativa de vivienda de bajo costo en aquellos lugares donde los materiales industriales son de difícil acceso y costosos. Otra razón del reciente interés, es la intervención y la conservación del patrimonio cultural, puesto que una buena parte del patrimonio cultural en el mundo está construido con tierra. Esto ha conducido a que se lleven innovaciones en el material tierra, inclusión de herramientas tecnológicas más eficientes en el proceso constructivo y mejoramientos para las respuestas sísmicas en las edificaciones. A nivel mundial ya se encuentran empresas que venden el material listo para emplear y otras que también se dedican a la construcción de viviendas y otro tipo de edificaciones contemporáneas. También se han logrado investigaciones en las universidades donde se muestra una gran cantidad de estudios que se le han hecho a la tapia pisada y sus mejoras para ayudar a su respuesta en una actividad sísmica.

En la actualidad de Colombia, la construcción con tierra no está incluida en los programas de arquitectura e ingeniería civil salvo contadas excepciones. Esto se debe sobre todo a la desinformación o falta de interés en el tema; además la norma sismo resistente no contempla a los sistemas constructivos relacionados con la tierra. Tampoco se tiene un mercado real a nivel general

del país. Todos estos argumentos y situaciones han demorado el desarrollo de la construcción en tierra en Colombia; sin embargo, en Barichara Santander por razones particulares hace veinte años la construcción con tapia pisada es dinámica, es motor de la economía del municipio y está posicionado un mercado de alto nivel, donde se puede observar que más del 50% de este municipio está construido en tierra.

**Proceso constructivo** (Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada)

A continuación, se va a describir el proceso constructivo de la tapia tradicional:

- ❖ Para el inicio de este proceso se recolecta la tierra, la cual se debe picar para deshacer grumos que tenga en el material.
- ❖ Después nivelar el terreno, se procede a construir una cimentación de hormigón o piedra, la cual soporte la carga ejercida por la estructura.
- ❖ Posteriormente se continúa armando el tapial.
- ❖ Inmediatamente se deposita una primera capa de tierra de unos 10cm de espesor. Se compacta con un pisón hasta que el sonido seco del contacto del pisón con la superficie indica que está lista la capa para recibir la nueva. El procedimiento se repite hasta llegar a 5cm por debajo del borde del tapial. Por efectos de la compactación, la capa de 10cm de tierra se reduce a 5cm. hacen capas de tierra compactación a de 0.10 m, hasta llenar el tapial y alcanzar la altura de la sección utilizando una herramienta llamada pisón.
- ❖ Por último, se procede a desplazar el tapial horizontalmente para continuar con el desarrollo perimetral de la pared. Luego de haberle dado la vuelta al perímetro de la casa con las armadas sucesivas del tapial, se pasa a montar el tapial sobre los muros del primer anillo. Y de esta forma hasta llegar al nivel de cubierta. Cada bloque de tapia pisada se trabando con respecto

al que está debajo, de tal manera que una vez terminado, el muro tiene la apariencia de una mampostería de gran tamaño..

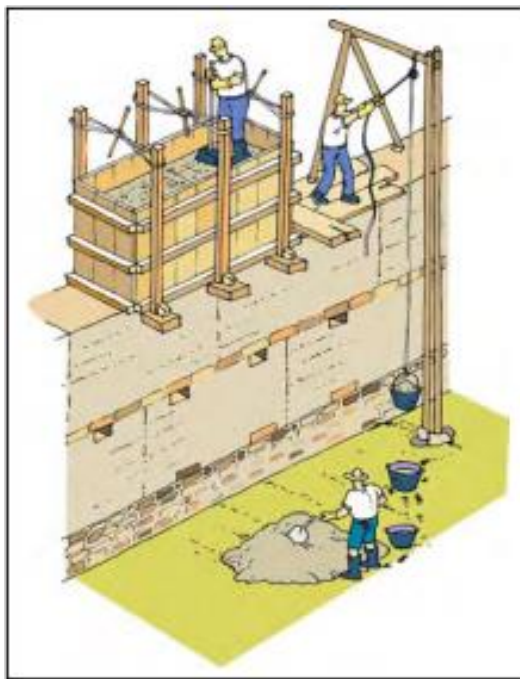


Figura 1. Construcción de Muro en tapia Pisada

(Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada)

*Ilustración 1. Estructura del tapial.*

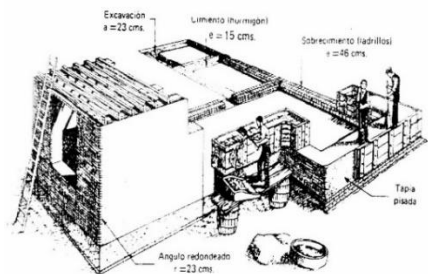


FIGURA 4: VISTA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA EN TAPIA PISADA.

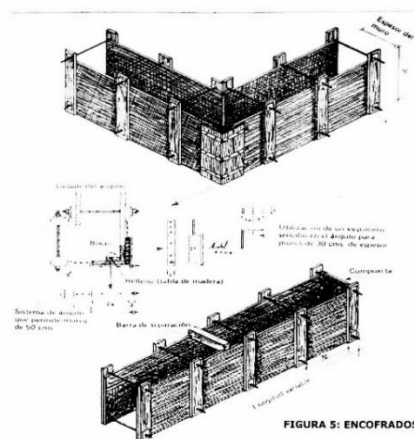


FIGURA 5: ENCOFRADOS

Figura 2. Estructura del Tapial

(Gallego Lopez, s.f)

Para seguir con el muro que se esté construyendo debemos tener en cuenta que cada módulo panel de tierra apisonada se debe hacer con traba interna, de forma que no tengamos un muro frágil y con problemas de baja resistencia, donde se vean grietas o fisuras verticales. Cada vez que vayamos a repetir el proceso de compactar un módulo se debe limpiar los tablonés y suministrarle aceite para que la tierra no se pegue a la superficie del tapial. Todo esto se repite hasta llegar a la altura deseada por el constructor.

**Herramientas y materiales** (Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada)

- ❖ EL tapial: el cual consiste en una formaleta de tablas de madera con diferentes dimensiones y 2 compuertas ubicadas a los extremos de dichas tablas.

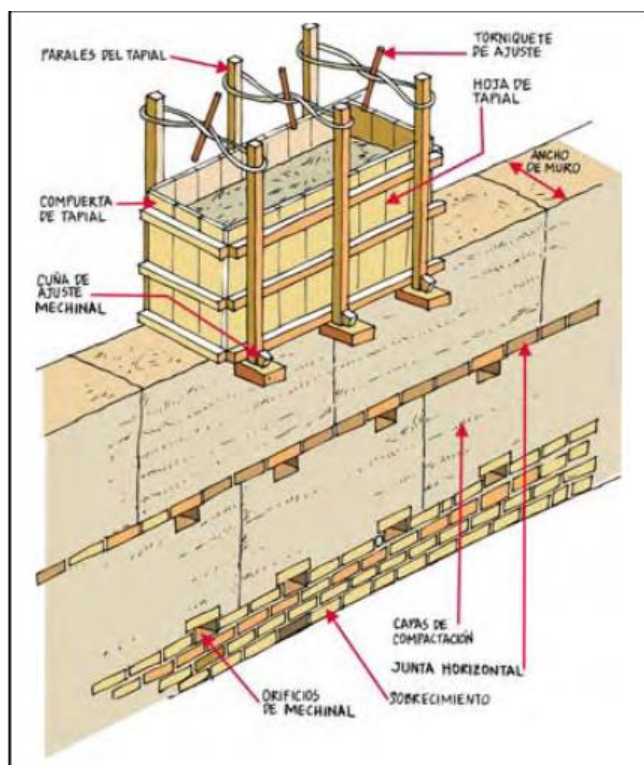


Figura 3. Partes de Un Tapial

Fuente: (Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada)

- ❖ Los pisones: es un instrumento normalmente en madera, el cual tiene una forma muy semejante a la de un remo, su peso y tamaño varía dependiendo la persona que lo manipule.
  
- ❖ Mechinales o agujas: son elementos transversales que cumplen la función de sostener el tapial por medio de unos paraleles que son colocados alrededor, los paraleles están ubicados en unas cajas de madera con el fin de al hacer la compactación, no se abra el tapial.
  
- ❖ La tierra: no toda la tierra es adecuada para el uso de la tapia pisada, se requiere hacer unos estudios de granulometría para poder seleccionar la mejor tierra, se estima que los porcentajes adecuados son los siguientes (Tapia & Imitola Castillo, 2012):
  - Arena: rango entre 40% hasta 50%
  - Limo: rango entre 20% hasta 35%
  - Arcilla: rango entre 15% hasta 25%
  - Gravilla: rango entre 0 hasta 15%

## 5. Metodología

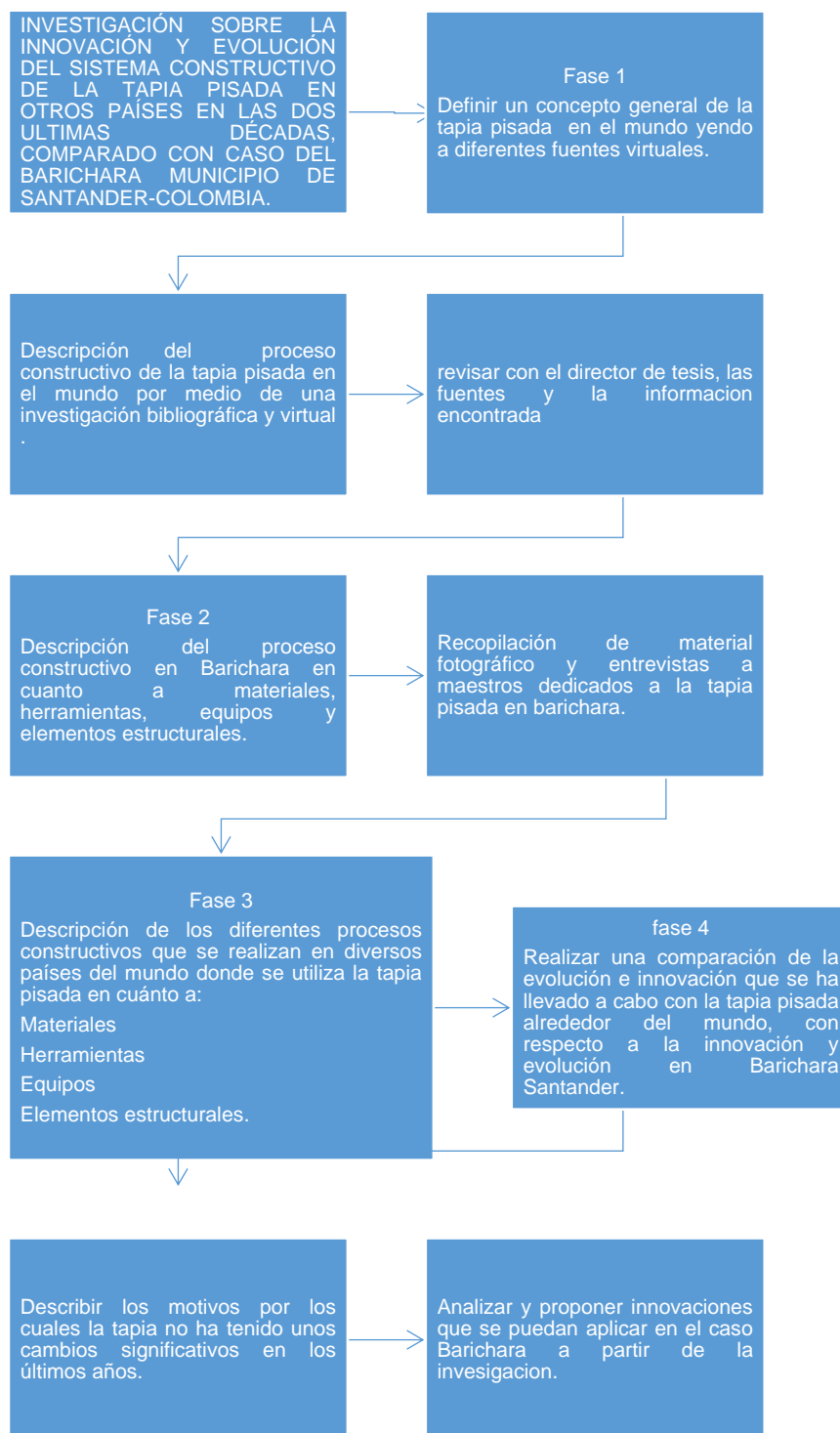


Figura 4. Metodología

## **6. Investigación de innovaciones y evoluciones en los procesos constructivos de la tapia pisada en Diferentes países donde se ha implementado**

### **6.1 Protocolo de la Revisión e Investigación Bibliográfica**

#### **6.1.1 Título de Revisión Bibliográfica**

Investigación sobre la innovación y evolución del sistema constructivo de la tapia pisada en Barichara Comparado con otros países en los últimos veinte años

#### **6.1.2 Definición del Concepto de Revisión Bibliográfica**

La revisión Bibliográfica se puede entender como la presentación de un extracto de lecturas documentales previamente realizadas como primer paso para iniciar un proceso investigativo, donde se realizan conclusiones, análisis y conocimiento de datos sobre un tema de interés específico.

Según Gálvez Toro, citado en (Goris & JA., 2015) la revisión Bibliográfica se ha definido como

“la operación documental de recuperar un conjunto de documentos o referencias bibliográficas que se publican en el mundo sobre un tema, un autor, una publicación o un trabajo específico. Es una actividad de carácter retrospectivo que nos aporta información acotada a un periodo determinado de tiempo” (p. 3).

Y según el autor Hart, igualmente citado en (Goris & JA., 2015), la define como:

“la selección de los documentos disponibles sobre el tema, que contienen información, ideas, datos y evidencias por escrito sobre un punto de vista en particular para cumplir ciertos objetivos o expresar determinadas opiniones sobre la naturaleza del tema y la forma en que se va a investigar, así como la evaluación eficaz de estos documentos en relación con la investigación que se propone” ” (p. 3).

### 6.1.3 Información del Protocolo

**6.1.3.1 Actividades de la Revisión Bibliográfica.** En el proceso de búsqueda e investigación de datos bibliográficos se deben realizar una serie de actividades secuenciales para que los resultados sean lo más exactos y precisos posibles.

•**Identificar el campo y periodo de estudio que se requiere Analizar:** Para este caso el campo que se requiere analizar es la Innovación Y evolución Del Sistema Constructivo De La Tapia Pisada En Otros Países, abarcando un periodo de las dos últimas décadas, con la intención de realizar un comparativo con lo identificado para el caso de Barichara, Santander.

•**Elección de Fuentes de Información:** Por tratarse de una revisión Bibliográfica de diferentes sitios virtuales, el tipo de fuentes a utilizar será secundaria, que se refiere a datos ya elaborados a partir de otras fuentes primarias provenientes de libros , revistas, tesis de grados, artículos científicos y páginas y documentos web pertinentes al tema.

•**Generación de la Búsqueda:** El plan de la búsqueda incluye determinar los criterios a utilizar dentro de la base de datos y el diseño de la ecuación de búsqueda.

•**Compilación y filtración de los resultados de la búsqueda:** En este paso se genera un listado con la cantidad de artículos obtenidos, se filtran según criterios de selección y datos relevantes, clasificando, identificando y analizando los que verdaderamente apunten al objetivo establecido.

•**Analizar Resultados:** Con la selección completa de las fuentes de información se realiza un análisis más exhaustivo según aspectos, criterios y relación con el estudio.

#### 6.1.4 Objetivo de la Revisión Bibliográfica

Investigar y recopilar métodos de innovación y evolución del sistema constructivo de la tapia pisada en otros países en las dos últimas décadas para definir un concepto general y describir el proceso constructivo de la tapia pisada en el mundo por medio de una investigación bibliográfica de diferentes fuentes virtuales.

#### 6.1.5 Diseño y estrategia de Búsqueda

Aquí se debe precisar el objetivo de la revisión, por lo tanto se diseña una matriz de artículos de investigación y se toman como fuentes principales los documentos hallados en las bases de datos Scopus y Google Scholar, durante los últimos 20 años (2000 – 2020) , diferentes páginas, sitios web y documentos online que contengan aportes relevantes al objeto de estudio de esta investigación.

**6.1.5.1 Terminología Clave.** Dentro de la ecuación de búsqueda se hace uso de unos términos claves que se relacionan con la temática:

- **Innovación:** Innovation, improvement, Innovat, cooperat, co-operat
- **Evolución:** evolution, developing, progress, changes
- **Sistemas Constructivos:** Construction systems
- **Tapia Pisada:** Wall Tread
- **Técnicas:** techniques, technology, method, process, system
- **Modelos:** model, example, samples, types, representations
- **Avances:** advances, progress, developments, improvements

**6.1.5.2 Criterios de Inclusión y Exclusión.** En la búsqueda de documentos se incluirá todos los documentos que en el campo de búsqueda de Título, resumen y palabras claves, nombren tapia pisada, sistemas/ técnicas/ modelos constructivos o de construcción; que se encuentren dentro del periodo de revisión estipulado, en el idioma inglés, español o cualquier otro idioma y que sean de tipo artículos y tesis.

Los criterios de exclusión serán: Los documentos que no hagan referencia a las técnicas utilizadas y no refieren evidencias en los estudios realizados acerca del tema de análisis.

Adicionalmente, los documentos a seleccionar deben cumplir con otros criterios de selección como: ser de las áreas de ingeniería (Engineering), ciencias Sociales (Social Sciences) y economía (economy), que sean de carácter aplicativo y que contengan al menos un ejemplo de un modelo o estrategia constructiva de tapia Pisada.

### **6.1.6 Puesta en Marcha de la Revisión**

Teniendo en cuenta lo establecido en el diseño y la estrategia de búsqueda, se deben transferir los criterios y términos claves a los buscadores de las bases de datos seleccionadas y buscadores web, ingresándolos al procesador de tal manera que sean instrucciones fácilmente identificables e inequívocas, mediante la elaboración de una ecuación.

Se Procede a realizar exploración en los buscadores Web y con la ecuación de los términos clave ya dispuesta se delimita el periodo específico en las bases de datos; al obtener los artículos arrojados de estas búsquedas, se aplican los criterios de exclusión establecidos para separar los que realmente aportaran y serán de validez para el presente estudio.

## 6.1.7 Resultados de la Búsqueda y Revisión

**6.1.7.1 Ecuaciones.** Para la búsqueda en la base de datos Scopus, se realizó ingreso de tres versiones de ecuación que se presentan a continuación:

- Mediante la Ecuación TITLE-ABS-KEY ("construction adobe and rammed earth" OR "rammed earth structures" OR "rammed earth" AND systems AND construction) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp")) AND (LIMIT TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT TO (LANGUAGE, "Spanish")) la base de datos arrojó 71 Artículos.

- De la ecuación: TITLE-ABS-KEY ("adobe and rammed earth construction" OR rammed earth structures" OR "rammed earth" AND evolution OR development OR progress OR changes AND construction AND systems) Se obtuvieron 15 Artículos.

En total de la base de datos Scopus se obtienen 86 artículos a los cuales se le aplicaran los criterios de inclusión y exclusión para establecer la muestra necesaria para el cumplimiento de este objetivo.

En la base de Datos de Google Scholar se realiza búsqueda alternativa de artículos encontrando:

- Mediante la búsqueda: innovation of the construction system of the tapia tread +Europe + France + Australia, arrojó 25 resultados.

**6.1.7.2 Aplicación de Criterios.** La Figura # 4 muestra la aplicación de las inclusiones y exclusiones a los artículos encontrados y tras eliminar los documentos que no cumplían los criterios específicos tales como el de campo de búsqueda, el periodo de revisión y el tipo de documento quedaron 43 artículos a los cuales posteriormente se les hizo el análisis para aplicar los criterios de exclusión, resultando finalmente 15 documentos.

Los 15 documentos hallados se analizaron para obtener un Concepto General de la Tapia Pisada en el mundo y la descripción de procesos constructivos utilizados.

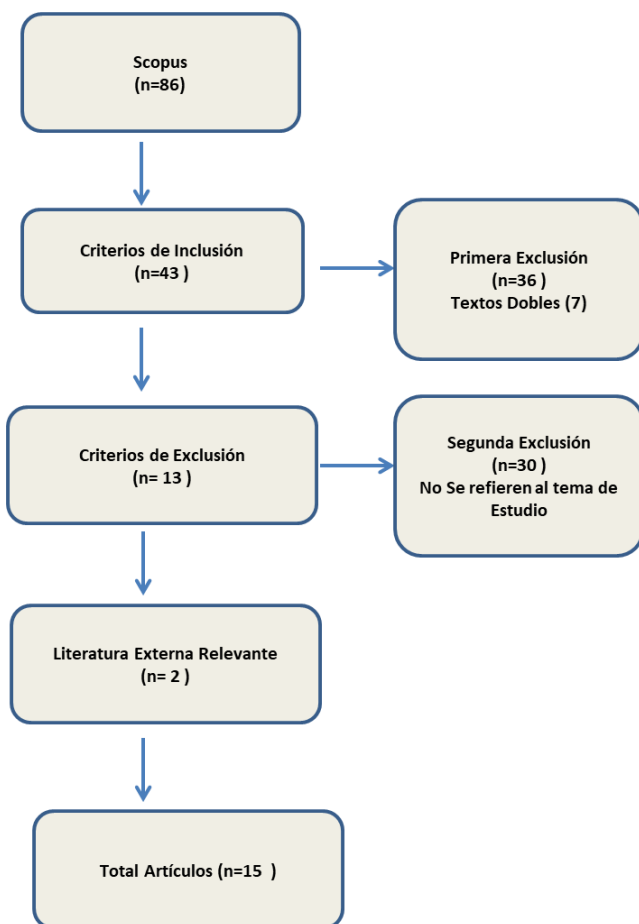


Figura 5. Resultados de la Búsqueda

**6.1.7.3 Distribución Geográfica.** En la Figura 6 se muestra la distribución de los lugares en los cuales se identificaron estudios realizados en relación a los sistemas constructivos de tapia pisada, dentro de la muestra, se evidenció que el sistema constructivo de tapia pisada es usado mundialmente en la construcción de edificaciones y viviendas de pueblos enteros desde la antigüedad de las civilizaciones hasta la actualidad con diferentes técnicas, apreciándose por ejemplo en construcciones emblemáticas de China como son sus murallas, países africanos, en Australia y en España donde esta técnica predomina en varias comunidades por ser un método que necesita poca tecnología, por su economía y belleza natural.

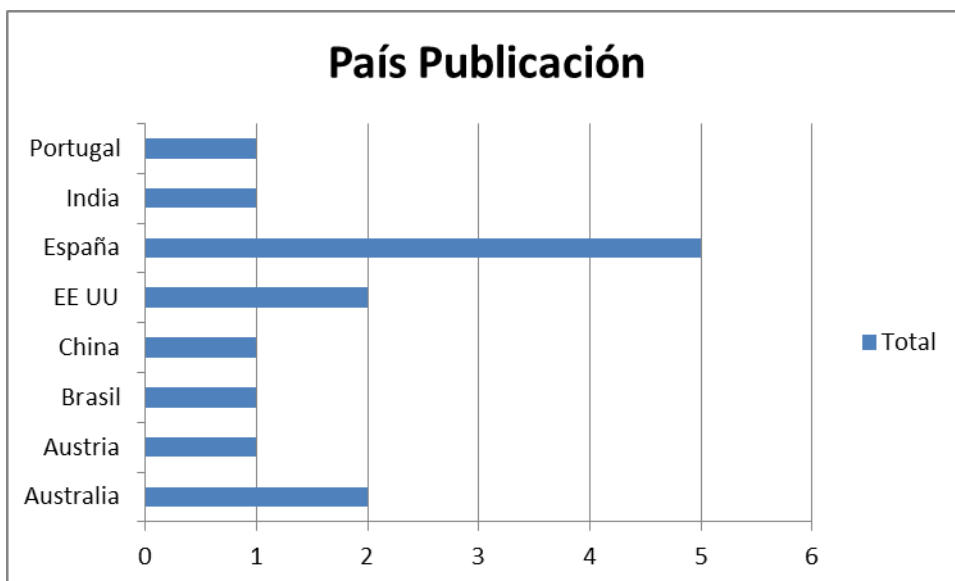


Figura 6. País Publicación de Artículos

## 6.2 Concepto General de la Tapia Pisada en el mundo

Dentro de los conceptos principales encontrados en la revisión bibliográfica acerca de la Tapia Pisada se resaltan:

“La tierra apisonada es una técnica para la construcción de edificios sostenibles, con una baja demanda energética que abarca todo el ciclo de vida de los edificios”. (Nanz, Rauch, Honermann, & Auer, 2019).

“La tierra apisonada es una técnica de construcción en la que se vierte una mezcla húmeda de lodo, arena y enredo en un encofrado y se compacta capa por capa” (Vyncke, Kupers, & Denies, 2018).

“La técnica de construcción con tierra apisonada consiste en la compactación de la mezcla de suelo (arcilla, arena, grava, estabilizador y agua) en capas de unos 7 cm de espesor sobre un encofrado de madera. La tierra apisonada se puede clasificar como estabilizada y no estabilizada. La tierra apisonada no estabilizada se compone enteramente de arcilla, limo, arena, grava y agua. La tierra apisonada estabilizada incluye otros materiales para mejorar sus propiedades” (Serrano, y otros, *Rammed earth walls in Mediterranean climate: Material characterization and thermal behaviour*, 2017).

En todos los artículos revisados, los autores hacen referencia al sistema constructivo de tapia pisada, como una técnica o proceso milenario y ancestral que utiliza como principal material el suelo y la tierra arcillosa valiéndose de sus bondades y de su bajo coste. Este sistema constructivo está siendo reconsiderado hoy en día por su capacidad de sostenibilidad requiriendo poca energía en sus procesos, exigencia de poca tecnología, poca mano de obra especializada, por tener ciclos de vida prolongados y por qué en el ciclo final de vida el mayor porcentaje de su contenido se puede reciclar.

Esta técnica constructiva a lo largo de los periodos evolutivos de la construcción, ha sido empleada para realizar construcciones con diferentes objetivos, como la arquitectura defensiva islámica reflejada en los muros de la torre Muza en España (López, Tormo, & Pellicer, 2015), arquitectura religiosa evidenciada en las millares de edificaciones de Mezquitas, iglesias y templos religiosos de todo el mundo y diferentes estilos de viviendas como las casas de

método de modelado directo en Camerún o las Viviendas residenciales construidas con soporte de carga de bloques de tierra comprimida en Auroville, India (Houben, Balderram, & Simon,, 2004)

Se puede indicar que este sistema constructivo es una de las expresiones arquitectónicas más antiguas de las sociedades que poco a poco está retomando su auge con la llegada de la economía circular y las tendencias ecologistas, pero que requiere de estudios profundos y a escala real en cuanto a comportamientos térmicos y resistencia sísmica.



*Figura 7 Casas de Modelado Directo en Camerún*

Fuente: Recuperado de Our Earthen Architectural Heritage: Materials Research and Conservation (Houben, Balderram, & Simon,, 2004)



*Figura 8* Torre Muza, España

Fuente: Recuperado de El sistema constructivo de los muros de la Torre Muza (Benifaio, España) (López, Tormo, & Pellicer, 2015)

### **6.3 Ventajas y Desventajas del método Constructivo**

#### **6.3.1 Ventajas**

Las ventajas del sistema constructivo de tapia pisada son variadas y de beneficio sobre todo para el medio ambiente:

- Termodinámica
- Bajo Costo: Puede ser incluso más económica que una construcción en ladrillo si la tierra se provee del mismo lugar.
- Tiempo corto de construcción: Una edificación de 120 mt Cuadrados pueden construirla tan solo en 3 meses. Contando el tiempo desde que se extrae la materia prima de los muros hasta cuando éstos están en funcionamiento, la tapia pisada es el sistema que consume menos tiempo comparando con el ladrillo, el btc o el adobe pues todos ellos pasan por una fase de secado antes

de pasar a la siguiente etapa del proceso. Un muro de tapia pisada, se extrae la tierra, se prepara en el punto de su humedad, se compacta y está listo el muro.

- Solidez y Durabilidad: una construcción puede llegar a durar más de 2000 años dependiendo de sus cuidados y mantenimiento de techos para que las goteras no afecten los muros.

- Requerimiento de poca madera

- Mano de obra accesible

- Reutilizable: Al final de la vida útil no se convierte en escombros sino en abono

- Resistencia a incendios

- Acoplamiento con el paisaje: las construcciones en tapia pisada generan un balance entre ambientes y espacios naturales.

### **6.3.2 Desventajas**

- No cumple con todos los requisitos de las normas colombianas NSR 10 y las normas establecidas sobre edificaciones sismo resistentes, teniendo que utilizarse como complemento y no como un sistema estructural en su totalidad.

- Si no se establece un diseño bioclimático eficiente, puede afectar a la salud a personas con enfermedades respiratorias de base, pues continuamente el muro realiza un intercambio de humedad entre el exterior y el interior. Si no hay una ruta eficiente de circulación de aire húmedo, la casa se siente húmeda y fría.

- Alteraciones con la lluvia, drenajes y corrientes de agua que puedan estar cerca de la edificación, requiriendo protección contra el agua durante el proceso de secado.

- Mayor consumo de mano de obra

- Conocimientos netamente ancestrales: se requiere mayor incentivo y centros capacitadores para las nuevas generaciones.

## 6.4 Resultados de la Identificación de Procesos constructivos en otros países

En la *Tabla 1* se relacionan los procesos y sistemas constructivos llevados a cabo en varias regiones geográficas, señalando las innovaciones en materiales utilizados en algunos y las innovaciones en técnicas en otros.

Tabla 1 *Descripción de Procesos Constructivos En el Mundo*

<b>Descripción del Proceso Constructivo</b>	<b>Uso en Materiales</b>	<b>Innovación en Técnica</b>	<b>Autores</b>	<b>Lugar</b>
En cuanto a la tecnología de apisonamiento utilizan plantillas en forma de L y T en las esquinas, luego las retiran, palean el extremo del muro en un plano inclinado y corrigen el muro.	En la fabricación de materiales mejoran las propiedades mecánicas y la durabilidad incorporando 5% o más de cal hidratada del suelo de desecho de la pared, controlan la humedad en un 15-20%	Realizan Optimización estructural : Ponen ladrillo, piedra o cimientos de hormigón, de 300-500mm para hacer una barrera de humedad entre la base y el muro de tierra apisonada, las vigas de madera las unen en forma de anillo por medio de juntas o picos, realizan refuerzo de paredes con tiras de bambú puestas horizontalmente entre las paredes verticales y horizontales, en las costuras superior e inferior de la pared de tierra apisonada, colocar alfileres verticales como palos cortos de madera y tiras de bambú con un espacio no superior a 1 metro	(Chen, y otros, 2020)	China
Utilizan el encofrado tradicional	mezcla de materiales: suelo mineral, cemento y cenizas volcánicas resultando en una estructura de pared monolítica con propiedades superiores de aislamiento térmico, resistente al fuego y ecológico		(Totla, y otros, 2019)	India

Utilizan el encofrado tradicional		sistema de revestimiento de paredes de hormigón con núcleo de tierra apisonada	(Patnaikuni, Setunge, & Himabindu, 2013).	Australia
Manejan Encofrado y técnica de capa por capa	tierra de diferentes colores para darle efecto estético,	para dar alta resistencia a la compresión usan prensas eléctricas y neumáticas, laminado de madera contrachapada, soportes de aluminio para encofrados, cintas transportadoras, compresores neumáticos de aire, máquinas mezcladoras y tractores	(Vyncke, Kupers, & Denies, 2018).	Australia
Encofrado Tradicional		sistemas de refuerzo sobre las uniones perpendiculares dejando a la vista clavijas, alfileres y cuñas para controles y mantenimientos posteriores	(Angulo-Ibáñez, 2017).	España
Encofrado de Madera La técnica de apisonamiento utilizada fue totalmente manual en una de las edificaciones y en la otra la realizaron mecánicamente para poder comparar, caracterizar y medir el comportamiento de los materiales.	compactación de la mezcla de suelo (arcilla, arena, grava, estabilizador y agua) en capas de unos 7 cm de espesor Agregaron paja para aumentar su durabilidad contra la erosión hídrica, arcilla expandida para mejorar las propiedades térmicas y cemento Portland para aumentar la resistencia a la compresión y como estabilizador para la erosión hídrica. La paja también la utilizan para minimizar la contracción durante el proceso de curado y reducir la densidad de la tierra apisonada. La combinación de tierra apisonada y arcilla expandida fue un proceso innovador.		(Serrano, y otros, 2017)	España

El sistema constructivo utilizado es el encofrado tradicional	Utilización de morteros de bajo costo mallas disponibles en el mercado (fibra de vidrio, plástico, metal y nylon) con tierra estabilizada, no estabilizada y con base de cemento		(Oliveira, Silva, Barroso, & Lourenço, 2017).	Portugal
Sistema de Encofrado tradicional pero con menor grosor	la tierra apisonada se usaba tradicionalmente con grandes espesores de 50 cm a 1 m aproximadamente, sin embargo se probó una técnica de construcción con un espesor menor en este estudio, la tierra apisonada se adapta a los sistemas de construcción modernos utilizando espesores de 29 cm y añadiendo aislamiento. Como novedad, la tierra apisonada fue aislada en el exterior y se seleccionó un material de aislamiento de energía sostenible y de bajo consumo, este material aislante natural es basado en madera y siguiendo las mismas pautas de sostenibilidad, se seleccionó un techo verde de madera como cubierta del sistema.	Todos los cimientos consisten en un hormigón armado de 3,60 3,60 m base con capa de drenaje de grava y todos los techos están aislados con 5 cm de poliuretano.	(Serrano, Gracia, & Cabeza, 2016)	España
Encofrado Tradicional y cajas aparejadas en el sitio para hacer grandes bloques		el proceso de construcción consiste en el desplazamiento progresivo de las juntas verticales. La caja se construye con encofrado lateral reforzado con tres o cuatro maderas verticales o costales sobre las vigas de la construcción espaciadas	(Gil-Crespo, 2016).	España

		<p>a distancias de 82-85 cm. Estas maderas horizontales rara vez pasan por todo el grosor de la muros en edificios fortificados. En los edificios domésticos, por otro lado, debido a la delgadez de los muros, los puntos son pasantes. Por esta razón es necesario instalar un sistema de refuerzo formado con vigas, cuñas, cuerdas y cruces de San Andrés. Estos elementos, una vez que la tierra ha sido compactada dentro de los encofrados, se cortan y se dejan dentro de la mampostería.</p>		
Sistema Constructivo tradicional de encofrado	Abrazadera enrollada para refuerzo	<p>Las características generales de estas construcciones o su fabricación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Edificios de dos plantas sobre rasante, con unas dimensiones máximas de 7,20 × 9,20 m (fachada x tabique) y un muro de carga paralelo a la fachada para soporte de forjado y viga cumbreira.</li> <li>. Los muros de carga son muros de tierra apisonada de 40 a 60 cm de espesor, dependiendo de su esbeltez y cargas.</li> <li>. Losas de piso con puntales de madera de 15 cm de diámetro cada 50 cm, con soporte de relleno de bóveda de marga (adobe y marga) o de caña y argamasa encima de las vigas.</li> <li>. Cubierta inclinada realizada con troncos, cañas y tejas de arcilla apoyada en los muros de carga (fachada y muro intermedio).</li> <li>. Altura del terreno de 3,90 my 6,00 m de</li> </ul>	(Angulo-Ibañez, 2015).	España

		<p>cumbrera. La altura de la planta baja es de 2,5 m. El sistema de riostras enrolladas se compone de tres elementos: el riostra, los pasadores o brazos que se cruzan al exterior y la cuña que los sujeta. El sistema refuerza las paredes mediante puntales de madera y pasadores en el exterior de la pared que limitan su movimiento, pensado como una forma de absorber la presión de tracción localizada en las esquinas superiores de las juntas del muro donde no se encuentran vigas, aprovechando la presión de compresión ejercida por la riostra y los pasadores.</p>		
	<p>Incorporación del residuo agrícola e industrial de la ceniza de cáscara de arroz en el sistema de tierra apisonada estabilizada con cemento</p>	<p>Prototipo: Las dimensiones externas son 3:72 × 3:72 m<sup>2</sup>; las internas 3:48 × 3:48 m<sup>2</sup>; y la altura del techo 2,70 m. El edificio prototipo se construyó sobre cimientos de hormigón (φ de 20 y 60 cm de profundidad) y vigas de tierra de hormigón armado (20 × 20 cm<sup>2</sup>), con ocho columnas prefabricadas de hormigón armado fijadas a esta base (12 × 12 × 310 cm<sup>3</sup>), que se utilizaron para guiar y bloquear los muros apisonados S-C-RHA en su lugar. Para evitar posibles infiltraciones en el suelo de los muros S-C-RHA apisonados, se añadió una viga anular de hormigón inferior (zócalo de 12 × 12 cm<sup>2</sup>). La proporción de mezcla utilizada para el hormigón armado fue 1:2:3 (cemento</p>	<p>(Milani &amp; Labak, 2012).</p>	<p>Brasil</p>

		<p>agregado fino: agregado grueso) en volumen, agua-cemento proporción de 0,64, usando acero de 6,3 mm. La compactación manual de la cáscara de la mezcla suelo-cemento-arroz la ceniza se realizó a un 16% de contenido de humedad óptimo en el deslizamiento moldes de madera contrachapada recubierta de resina. La compactación fue concluida cuando el apisonador dejó de dejar marcas en la superficie compactada (potencia de compactación <math>\approx 5:8 \text{ kgf/cm}^2 \approx \text{proctor estándar}</math>). Antes empezando en la siguiente capa, se hicieron ranuras en la superficie superior de la capa anterior para aumentar la adherencia entre las capas. En las paredes tienen juntas verticales (guías fijas de hormigón) cada 1,68 m para prevenir la formación de grietas.</p>		
Encofrado tradicional pero no en sitio sino en fábrica		<p>innovación está en la industrialización de este sistema constructivo y entre sus principales ventajas destacan: • La producción se puede realizar independientemente del tiempo exterior, evitando interrupciones e imprevistos durante la ejecución. • Se pueden calcular los rendimientos de ejecución con gran precisión, optimizando los métodos de trabajo. • Se reducen los tiempos de trabajo en obra. • Se mejora la planificación de la obra y la</p>	(VonMag & Rauch, 2011)	Austria

		coordinación de las intervenciones en la misma, reduciendo los tiempos de entrega del conjunto edificado. • Se mejoran los procesos de control de calidad y así como la calidad final de la pieza (dosificaciones, grado de compactación, textura de acabado).		
Encofrado tradicional manual	La dosificación de la mezcla disponible localmente suelos/arenas y cemento se realiza para lograr una resistencia de al menos 3,45 MPa (500 psi), Se añade la cantidad adecuada de agua a la mezcla antes o durante la colocación para obtener una calidad y fuerza consistente. Añaden paja seca para mejorar durabilidad y resistencia al desgaste	Los cimientos y las paredes están contruidos con 305 mm (12 pulgadas) de cemento del suelo. Los muros tienen un mínimo de refuerzo equivalente a barras US #4 (129 mm cuadrado o 0,2 en área cuadrada) a 1,22 m (4 pies) de distancia tanto horizontal como verticalmente, equivaliendo aproximadamente a 516 mm cuadrados (0,8 pulgadas cuadradas) de refuerzo de bambú. Aumentan la capacidad tensión, corte y flexión para resistencia a terremotos con el refuerzo alternativo natural del bambú La construcción también incluye un entramado de techo ligero para minimizar la inercia y un diseño de conexión de amarre de pared a techo adecuado para garantizar una trayectoria de carga y una transferencia de carga adecuadas.	(Munshi, 2009).	EE UU
Encofrado Tradicional	Emplean el aditivo estabilizador de Cemento de Portland	El relleno neumático apisona para compactar la mezcla de la tierra, y las formas fabricadas para la construcción de hormigón en el lugar de la colada.	(Hardin & Comella, 2006).	EE UU

A nivel general, la mayoría de los estudios analizados refieren estudios tendientes a evaluar confort, rendimientos y sensaciones térmicas, rendimientos sísmicos, niveles de compactación y resistencias hídricas de arquitecturas históricas y antiguas construidas con el sistema de tapia pisada, pocos estudios hacen referencia a las técnicas constructivas y no se evidencian muchas referencias sobre innovaciones recientes acotando que todos los estudios hallados datan de una antigüedad de más de 5 años.

Evidentemente en cada proceso constructivo utilizado en las diferentes localidades, la complejidad y alcance de los factores involucrados y los resultados de las edificaciones obtenidas en todas las regiones demuestran notables similitudes entre sí.

En los diferentes países y con costumbres tradicionalistas y culturales particulares, las soluciones de construcción son muy semejantes en cuanto al uso de materiales básicos, materiales estabilizantes y maniobras de construcción, siendo pocos los lugares que utilizan la tecnificación y la tecnología de auge para avanzar y mejorar el rendimiento productivo.

En cuanto a innovación en la técnica propiamente dicha, se destacan los procesos llevados a cabo en Australia donde utilizan prensas eléctricas y neumáticas, laminado de madera contrachapada, soportes de aluminio para encofrados, cintas transportadoras, compresores neumáticos de aire, máquinas mezcladoras y tractores y en Australia donde pretenden la industrialización a gran escala de este sistema constructivo.



*Figura 9* Resultado Técnica Tapia Pisada Australia

Fuente: Recuperado de (Vyncke, Kupers, & Denies, 2018)

## **7. Proceso constructivo de la Tapia Pisada en el Municipio de Barichara**

El contenido de esta fase, está basado en la información recopilada mediante las entrevistas realizadas a los principales maestros del Municipio de Barichara especialistas en el sistema constructivo de Tapia, los cuales a través de sus conocimientos empíricos concuerdan con autores del mundo en su concepto, refiriéndose a este sistema como *“un sistema constructivo con el método más limpio para una obra, porque no se va a contaminar, el material es orgánico, la tierra sale del mismo terreno de la obra en muchas ocasiones”* (Maestro Ivan Ramírez) y el Maestro Nilson Suarez lo define como *“El arte que identifica Barichara y toda la provincia”*.

El contenido completo de las entrevistas se podrá revisar en los Apéndice A, B y C del presente documento.

### **Municipio de Barichara, Esencia, Cultura y Riqueza**

El municipio de Barichara Santander, está ubicado en la provincia de Guanentá a 110 Km de Bucaramanga, declarado como el pueblo más bonito de Colombia y monumento nacional en

1978 por sus construcciones que le dan su identidad y datan de la época de la colonia conservándose hasta la actualidad (Semana, 2019), se caracteriza por poseer abundancia de los componentes adecuados para realizar una construcción en Tapia, sus terrenos y piedras singulares hacen que la construcción con este sistema tradicional logre resultados únicos y de gran belleza, manteniendo su esencia constructiva transmitida de generación en generación para ser conservada, pues el municipio se ha mantenido económicamente a través del turismo atraído por su infraestructura auténtica.



*Figura 10. Piedra Barichara Material Constructivo*

Fuente: Recuperado de Foto Libre de Barichara (ph, s/f)

El conocimiento sobre el sistema constructivo de la tapia pisada es de origen ancestral, convirtiéndose en toda una cultura constructiva que se ha transmitido a las actuales generaciones a través de maestros como Martín Prada, Clímaco Gómez y Luís Quiñonez, personajes reconocidos en el municipio de Barichara en esta labor, por su excelencia de calidad y que junto con sus familias han logrado transformar las edificaciones de la región en atracciones culturales, representándole beneficios económicos y reconocimientos internacionales.

### **Tapia Pisada Proceso y Técnica en Barichara**

La tapia pisada es una de las técnicas constructivas típicas de Barichara, que es utilizada junto con el adobe, bahareque, guadua y elementos en arcilla autóctonos de la región, para la edificación de todo tipo de estructuras como casas, cerramientos y quioscos.

La técnica se lleva a cabo mediante un proceso que inicia con la selección de la tierra a utilizar, que en la mayoría de los casos se obtiene del mismo lugar de la edificación, hidratan la tierra con agua, realizándolo de manera aproximada sin tener un valor o medida exacta, según el maestro Ivan Ramírez “*Lo que se hace es que se toma un puñado de tierra, se aprieta y se deja caer al piso, si la tierra no se desborona, tiene una humedad óptima*”; Luego de tener la tierra lista proceden al armado del Tapial, que es un molde generalmente de madera, donde van introduciendo la tierra por capaz colocándole cada 30 cm caña de forma transversal para dar aún más firmeza, colocan *colmillos* o trabas para evitar las dilataciones y comienzan el trabajo de apisonado, labor que realizan manualmente hasta compactar y dar la resistencia requerida.



*Figura 11.* Técnica Tapia Pisada Postura Formaleta

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez



*Figura 12.* Diseño de muro Técnica Tapia Pisada

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez

Es importante resaltar que uno de los elementos principales de esta técnica es su cimentación, pues es el componente fundamental para la durabilidad de la construcción, normalmente la realizan con base de piedra Barichara en diferentes tamaños elevando el terreno y evitando que el agua afecte los muros; esta cimentación la realizan mediante un proceso que los maestros denominan *el cargue*, consistiendo en encarrilar la piedra y compactarla con barro y cemento.



*Figura 13.* Cimientos Tapia Pisada

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.



*Figura 14.* Cimientos Tapia Pisada

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.

En el proceso investigativo y trabajo de campo de observación, se identificó que el sistema constructivo en la mayoría de las edificaciones se realiza con base a los planes definidos por un arquitecto y los conocimientos ancestrales y empíricos de los maestros únicamente, sin tener en cuenta fundamentos tecnológicos y sin incluir aportes profesionales y técnicos de ingeniería; todo la parte técnica está siendo manejada por los maestros quienes no poseen la fundamentación técnica y conceptual para generar desarrollos y avances que sean significativamente innovadores.

## **7.1 Herramientas y Materiales utilizados en el Municipio de Barichara**

Los materiales básicos para la construcción en tapia utilizados por constructores de Barichara son: la formaleta que es un encofrado o tapial de madera, el material tierra, el pisón de filo de madera y cañas.

Estos elementos son usados para el levantamiento de muros y paredes y la edificación se complementa con los llamados botas y sombreros.

Las botas hace referencia a la cimentación y el cargue y los sombreros son los techos que generalmente van con una inclinación de 30%.

### **7.1.1 Formaleta y Herramientas**

La formaleta es el encofrado o Tapial que en Barichara está elaborado generalmente de madera y consta básicamente de hojas de madera, agujas, compuertas, las cuñas, los parales y lasos.

Las medidas del tapial son de 2.2 a 2.3 metros de largo, de 1 a 1.2 metros de alto y la anchura puede ir de 0.45 m hasta 1 metro dependiendo del ancho que prefieran a la hora de construir.

**Hojas de Madera:** Las hojas o paneles que conforman el tapial deben ser lisas, estar en buen estado y con un agregado de aceite o material antiadherente para que la tierra no se pegue.



*Figura 15.* Hojas o Paneles de Madera del Tapial.

Fuente: Autor. De la construcción del maestro Nilson Suarez

**Agujas Metálicas:** También llamadas riostras o travesaños, se ubican en la parte inferior donde deben ir encajados los paraleles, si las agujas son de metal los paraleles deben ser igualmente de metal.

Aquí se denota una leve innovación en el desarrollo de algunas construcciones, al realizar el cambio de utilización de agujas de madera por agujas metálicas.



*Figura 16.* Postura Aguja Metálica

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez

**Agujas de Madera:** Son las mismas riostras o travesaños de material de madera.

Las agujas atraviesan el muro.



*Figura 17. Agujas de Madera*

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez

**Compuertas:** Las compuertas son las tapas de la estructura del tapial, las tablas que se ensamblan al inicio y desmontan al final de la creación del muro.

**Cuñas:** Con las cuñas se presan los parales y los paneles, asegurando las hojas del tapial para evitar movimientos y determinando el grosor del muro. La función de las cuñas es una de las más relevantes, pues aprieta el tapial sin dejar que se desnivele. Según el maestro Ivan Ramírez: *“es de los factores más importantes en el tapial, porque aprietan el tapial al momento de pisar sin dejar que se abra este y también dan la nivelación del tapial”*

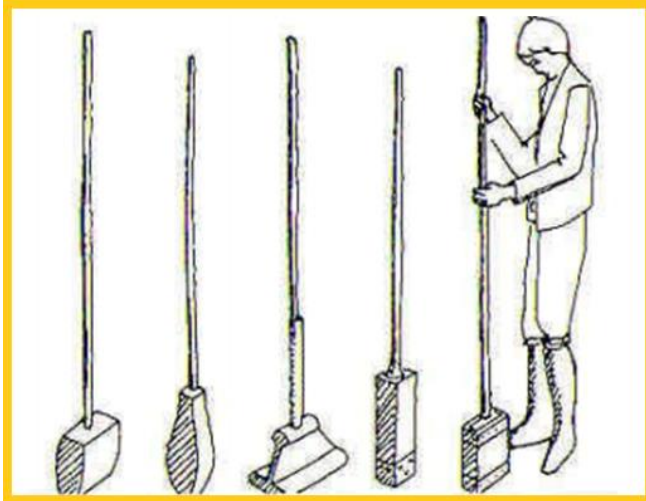
**Parales:** También llamados costales, son de madera aserrada de sección cuadrada que deben sobrepasar en altura a los paneles, con ellos se ajusta el encofrado en la parte superior en inferior.



*Figura 18.* Parales Tapial

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez

**Pisón:** Los pisones pueden ser elaborados de diversos materiales y formas que dependen directamente de la persona que los vaya a manipular; Los maestros de Barichara consultados, indicaron que para sus construcciones utilizan pisones de madera que van desde los 1.5 hasta 1.8 metros de alto que pueden ser de filo, con forma cuadrada o de punta en cuña.



*Figura 19.* Diferentes Tipos de Pisón

Fuente: Recuperado de Tapia Pisada. Tapia apisonada o tapial. (CaminoSostenible, s/f).

### **Otras Herramientas**

Las otras herramientas utilizadas son los lasos para amarres y las cañas llamadas trabas o colmillos, que se colocan en algunas ocasiones en forma de cruz o a corta y larga dirección para evitar dilataciones y aberturas de los muros.

Colocan amarres en la parte de arriba del tapial, actividad importante para evitar el desarme de la formaleta o que se descuadre.



*Figura 20.* Herramientas y Materiales para Construcción en Tapia Pisada.

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez



*Figura 21.* Otras Herramientas y Materiales para Construcción en Tapia Pisada.

Fuente: Autor. Construcción del maestro Nilson Suarez

### 7.1.2 Material Tierra

No todos los tipos de tierra son adecuados para este sistema constructivo, los maestros constructores, realizan pruebas ancestrales que son manuales para determinar su calidad.

El material tierra lo manejan en Barichara prácticamente de la misma forma que hace 200 años, tomando el material del terreno y haciendo una inspección de tipo cualitativo por parte del maestro quien es el que define cual tierra es la apropiada basándose en su experiencia empírica; A pesar de que muchas edificaciones son muy bien valoradas llegando a rubros de más de 600 millones de pesos, no se han preocupado por realizar inversiones en estudios que se enfoquen en el mejoramiento del material tierra, porque a pesar de que la zona cuenta con terrenos con buenas cualidades, es necesario invertir en estudios de curvas granulométricas que les permita potencializar las características específicas para la tapia pisada.

Según estimaciones la tierra adecuada para este tipo de construcciones debe estar compuesta aproximadamente de (SENA, 2012):

Gravillas: 0 al 15%

Arenas: 40 al 50%

Limos: 20 al 35%

Arcillas: 15 al 25%

En laboratorio se pueden realizar varias pruebas para el conocimiento de la tierra como el de granulometría para identificar cantidad exacta de cada material en la mezcla, la prueba Atterberg para definir límites de liquidez y plasticidad, la prueba de proctor para conocer la humedad óptima para alcanzar la máxima densidad el nivel de compactación y la prueba de tracción o cohesión de los materiales. (SENA, 2012).

Una vez que ya tienen identificada la tierra a utilizar, realizan la mezcla con agua, cuya cantidad la definen también mediante pruebas manuales como es la de tomar cierta cantidad de tierra apretándola firmemente con la mano y dejándola caer desde una altura aproximada de 1 metro, donde la tierra no debe adherirse a la mano ni desboronarse al caer.

Teniendo lista la tierra, la agregan en el encofrado formando capas que van de 3 a 10 cm, apisonándola con más de 30 golpes con el pisón hasta que este ya no deje marcas en la tierra, este proceso se repite hasta llegar al borde.

## **7.2 Sistemas de Reforzamientos Estructurales**

En las aplicaciones para mejorar comportamientos sísmicos, en Barichara realizan la postura de las cañas de manera longitudinal y transversalmente cada 30 cm para mayor firmeza y estabilidad, utilizan elementos como las vigas y varas de madera de aproximadamente 3 metros, teja partida en la dilataciones y piedras en forma de cuña para evitar aberturas de los muros y colocan “*colmillos*”, que son palos ubicados en las juntas y en los bloques, a veces en forma de cruz para evitar dilataciones.

Para el mejoramiento de las propiedades sismo resistentes en las obras de Barichara, se focalizan en los cimientos, realizando el cargue principalmente con barro, porque este no permite “*que la energía sísmica suba por la pared, ya que disipa, contrario del concreto que es rígido y transmite todo el sismo*”

En cuanto a la introducción de materiales alternos como el cemento y el acero, los maestros no están de acuerdo, indicando que no son *compatibles* y *no funcionaría* la combinación, pues *dañaría la parte rustica de la tapia*.

### 7.3 Componentes Administrativos

La implementación de técnicas constructivas tradicionales de tierra como es la tapia pisada, se caracteriza por ser manifestaciones arquitectónicas de carácter sostenible, que utiliza los recursos naturales que ofrece el contexto geográfico, obteniendo el material necesario del mismo sitio de la construcción, que genera interacciones sociales fomentando la transmisión de conocimientos ancestrales y autóctonos y que requiere de mano de obra de pocos conocimientos especializados.

En Barichara, a raíz de que el sistema es manejado desde la herencia de conocimientos ancestrales, la temática de análisis de precios unitarios no se desarrolla de manera coordinada, sistematizada ni regulada, siendo determinada de manera empírica, quedando a cargo y bajo responsabilidad del maestro, por lo que no se logra conseguir información detallada ni actualizada en cuanto a análisis de precios unitarios para la valoración de las construcciones de Tapia Pisada en Barichara.

Tradicional y Culturalmente los conocimientos sobre el proceso constructivo de Tapia pisada en Barichara han sido transmitidos de generación en generación y los trabajos se realizan con conocimientos ancestrales sin aplicar fundamentos técnico-conceptuales propios de la ingeniería, componentes y elementos estructurales sismo resistente que engranen el sistema con la normatividad vigente colombiana.

El proceso constructivo consta de la selección y preparación de la tierra, realización del cargue y cimentación para aislamiento de la humedad, armado y relleno del encofrado, compactación de la tierra mediante el pisón y desmonte del encofrado una vez secos los muros para poder colocar el “*sombrero*” o techo que debe ser bien estructurado para evitar que la lluvia ocasione daños en los muros.

Los materiales utilizados para la izada de los muros son la tierra, agua, vigas de madera, piedras y en ocasiones tejas y cal como reforzamiento, las herramientas y equipos son en su totalidad manuales, aún no han introducido herramientas mecánicas y neumáticas en el proceso de apisonamiento.

El sistema constructivo de la tapia pisada en Barichara, se ha quedado en el manejo arquitectónico, dándole relevancia a los aspectos espaciales sobre los aspectos técnicos, que deben ser dirigidos desde un nivel de ingeniería y lo que se evidencia es que la parte técnica está siendo manejada por los maestros, quienes carecen de fundamentos conceptuales y tecnológicos válidos, solo aplicando conocimientos empíricos muy tradicionales y convencionales.

El proceso constructivo de Tapia Pisada es representativo y cataloga al municipio como icono nacional, pues los resultados en sus edificaciones reflejan belleza, ambientes de confort térmico, balance con el paisaje natural y todo esto a un costo menor que las edificaciones de ladrillo y cemento, aunque debe trabajarse en la innovación de materiales y técnicas para el reforzamiento sísmico resistente y así lograr que sea valorado como un sistema estructural válido normativamente.



*Figura 22.* Muestra construcciones Maestro Ivan Ramírez

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.



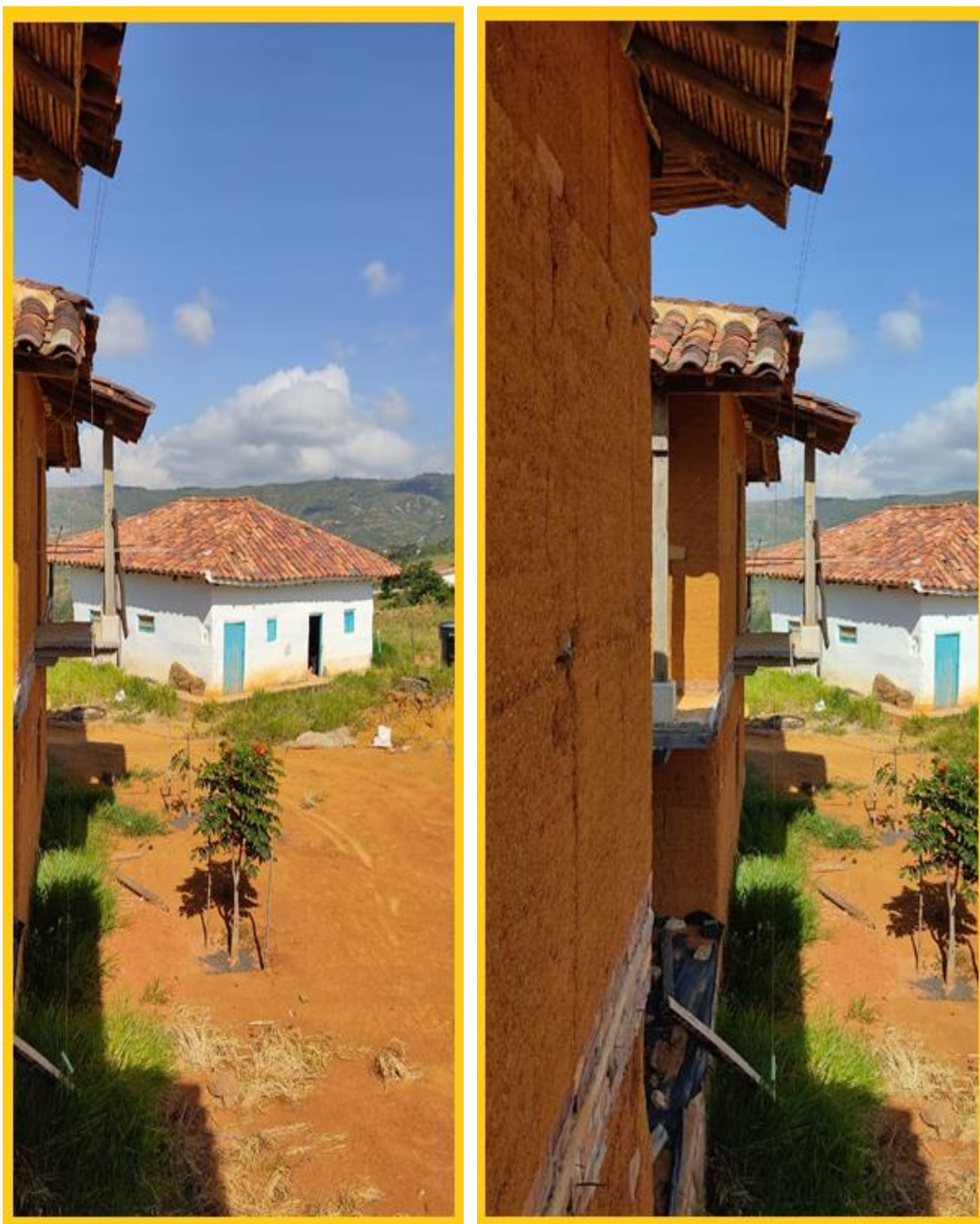
*Figura 23. Casa de Dos pisos Construcción Maestro Ivan Ramírez*

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.



*Figura 24. Construcción Maestro Ivan Ramírez*

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.



*Figura 25. Muestra Construcciones Maestro Ivan Ramírez*

Fuente: Autor. Construcción en Tapia Pisada del maestro Ivan Ramírez.

La recopilación completa del material fotográfico planteado para el desarrollo de este objetivo puede ser validado en los Apéndices D, E y F de este documento.

### **8. Proceso constructivo de la Tapia Pisada en otros países**

Para el año 2012 un tercio de la población mundial habitaba casas de tierra (Gatti, 2012) ya que en la mayoría de las regiones del mundo, la construcción en tierra ha sido el sistema constructivo ancestral más arraigado de sus culturas, que con la llegada del modernismo tuvo su declive al ser reemplazado por construcción con materiales artificiales cargados de elementos muchas veces tóxicos, que demandan una gran cantidad de energía para su producción y que no pueden ser reciclados o reutilizados al final de su vida útil, ocasionando que la industria de la construcción, sea una de las mayores causantes de producción de residuos y gasto de los recursos naturales especialmente de energía y agua. Pero en las últimas décadas ha venido acrecentándose la preocupación por los daños ambientales y el futuro del ecosistema mundial, poniendo de nuevo en auge esta técnica natural, que está siendo valorada por sus múltiples ventajas ya expuestas en el capítulo anterior y etiquetándola como un modelo de arquitectura ecológica y sostenible.

Actualmente, países como Austria, Francia, Estados Unidos, Alemania, Australia, España y China están haciendo resurgir esta técnica constructiva, combinándola con las nuevas tecnologías para dar unos acabados más estéticos pero que no pierda su esencia natural.



*Figura 26. Construcción en Tierra a Nivel Mundial*

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

Como resultado de la revisión Bibliográfica desarrollada, se realiza descripción de los procesos constructivos de algunos países del mundo donde se utiliza la tapia pisada implementando algunos avances tecnológicos.

- **Técnica de Prefabricación en Austria**

En Austria, los arquitectos Ablinger, Vedral & Partner y el constructor M.Rauch; Lehm-Ton-Erde, han impuesto la técnica de la tapia pisada en paneles prefabricados logrando combinar técnicas ancestrales con tecnologías actuales. La prefabricación de muros de tapia utiliza igualmente la tierra del sitio, pero las piezas se fabrican en un taller, donde se diseñan para que coincidan con los demás elementos como estructuras, pilares y vigas de madera e incorporando conductos para efectos de climatización, pasan por proceso de secado y embalaje especial (pues el empaquetado, almacenaje, carga, descarga y traslado deben ser muy cuidadosos), para finalmente cumplir el proceso de montaje en el lugar de la obra, mediante fijación con masa de arcilla y agua, sellado de las juntas rociando agua y rellenando con tierra. (VonMag & Rauch, 2011).



*Figura 27. Procesos En Fábrica de Muros de Tapia Pisada*

Fuente: Rammed earth walls and its industrialization (formworks and ramming systems)  
(VonMag & Rauch, 2011)

Los resultados de estas construcciones son muy estéticos y elegantes, logrando un concepto de eficiencia energética, espacios agradables y en línea con el medio ambiente.



*Figura 28.* Oficinas imprenta Gugler print&media. Prefabricación muros de Tapia

Fuente: Rammed earth walls and its industrialization (formworks and ramming systems) (VonMag & Rauch, 2011).

- **Técnica de Tapia con compactadores mecánicos en Austria**

Como otro ejemplo de inclusión de tecnología al sistema constructivo de la tapia pisada en Austria, se puede nombrar la construcción de la casa Rauch, donde el constructor M.Rauch Lehm-Ton-Erde utilizó martillos neumáticos y compactadores mecánicos con rodillos vibratorios para prensar los muros de la casa que fueron de 45 cm; adicionalmente incluyó nuevos materiales como ladrillos de barro para protección contra condiciones climáticas, vigas de hormigón armado o perfiles de acero amagado para que las ventanas pudieran ser más grandes y la tierra fue mezclada con bolitas de corcho y aserrín. Esta edificación fue construida prácticamente en su totalidad con materiales ecológicos y la tierra utilizada fue la resultante de la excavación, demostrando que se pueden lograr construcciones con cero emisiones contaminantes. (Gatti, 2012).



*Figura 29.* Casa Rauch Austria. Construcción con herramientas mecánicas y neumáticas.

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

- **Técnica de Tapia Aislada en Canadá. Sistema SIREWALL (sistema de aislamiento con muros de tapia pisada)**

En el año 2006 construyeron una de las más grandes edificaciones con la técnica de la tapia pisada en América del Norte incluyendo tecnología con los pisones neumáticos para su compactación. En Canadá, la empresa constructora Terra Firma Builders Ltda., empleó más de

100 toneladas de tierra combinándola con cemento portland y óxido de zinc para lograr un color ocre, haciendo que la edificación se camuflara con el entorno, e implemento un sistema de su propiedad que denominaron SIREWALL, consistente en la inclusión de barras de acero corrugado como medio de refuerzo y fijación de un aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm de ancho, que fueron colocados en el interior del tapial, recubriéndolos con paredes de tierra compactada de 25 cm de ancho.



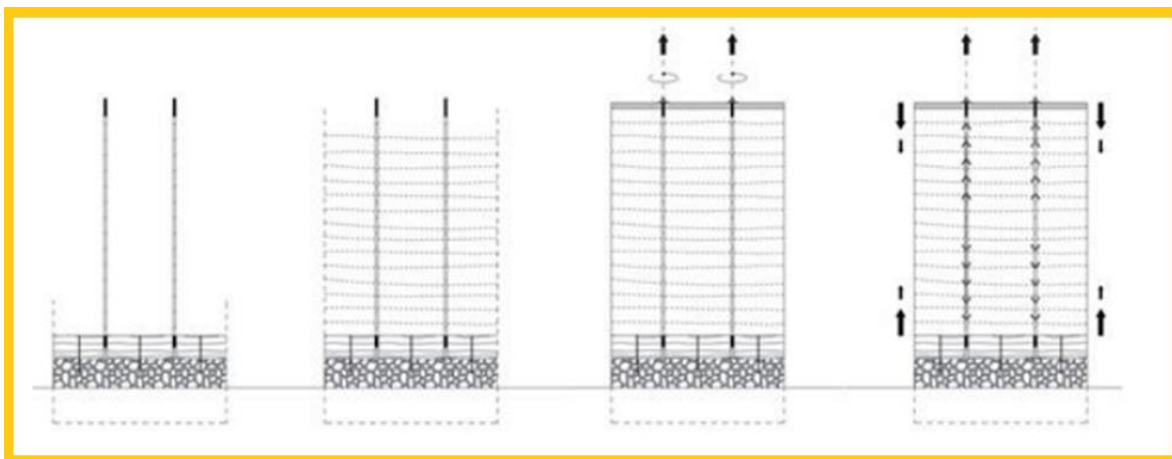
*Figura 30.* Sistema de Tapia Aislada NK'MIP Centro interpretativo del desierto, Canadá.

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

- **Técnica Tapia Post-Tensada y Dispensores Sísmicos**

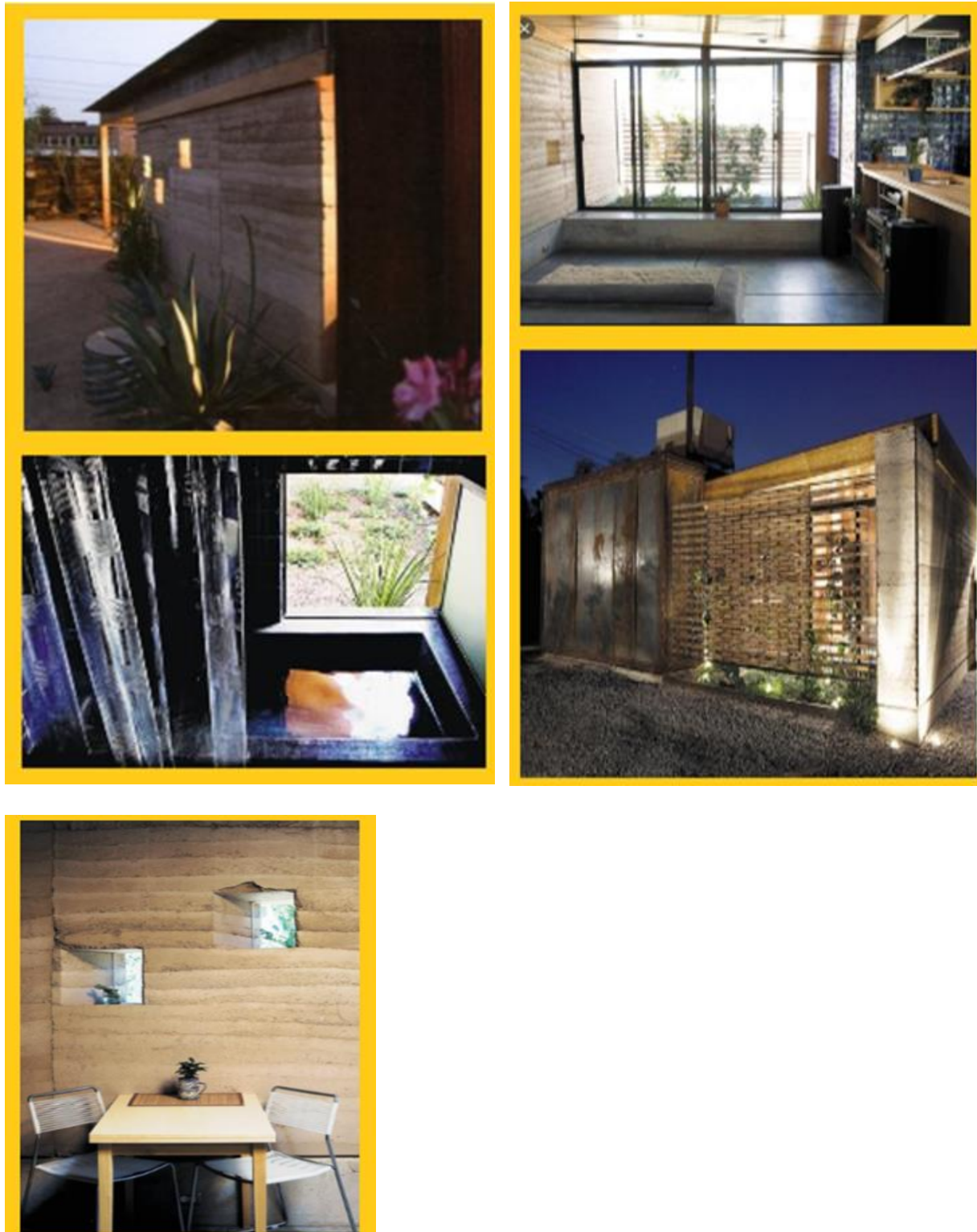
Esta técnica fue utilizada como mecanismo de reforzamiento y estabilización contra impactos horizontales sísmicos, mayor compresión de la tierra logrando aumento de resistencia y rigidez y como soporte uniforme del peso del techo.

Los arquitectos, Andy Powell y Jason Gallo, egresados de la Universidad de Arizona, emplearon esta técnica para una construcción en Tucson Arizona, mezclando la tierra con 4% de cemento como estabilizador, utilizando una mezcladora eléctrica de cemento para levantar paredes de 45 cm. El sistema de post tensado consiste en introducir por los cuerpos de los muros tubos de plástico con hilos de acero que llegan hasta los cimientos y en la parte de arriba del muro, se enrollan en un tablón y se tensan con una varilla de acero, en este caso, la utilización de este sistema cumplió el trabajo de anclar el techo. (Gatti, 2012).



*Figura 31.* Sistema de Post-Tensado en Tapia

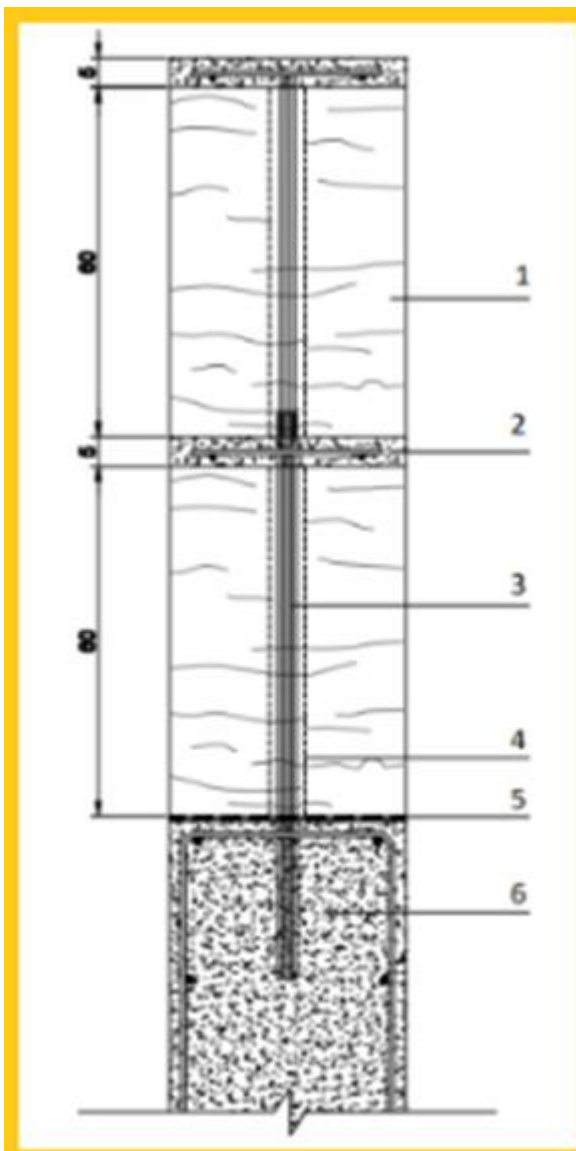
Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).



*Figura 32.* Back 40 House. Sistema Post Tensado.

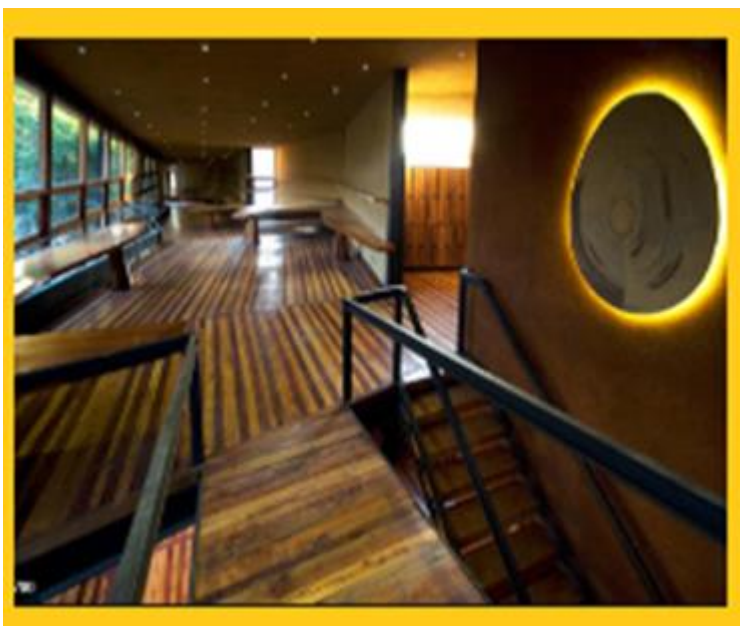
Fuente: 'Back 40' built Earth-friendly. (Tucson.com, 2006) Y Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

En Chile, este sistema fue utilizado como estrategia antisísmica para elaborar los muros de tapia con dispersores sísmicos en una construcción que sumó diferentes técnicas de construcción en tierra como: tierra alivianada, quincha metálica y adobe con arcilla de colores.



*Figura 33.* Diseño Inclusión dispersores Sísmicos

1. Muro de Tapia 400 mm; 2. Viga superior de refuerzo en H.A.; 3. Dispersores sísmicos; 4. Tubo de plástico que evita el contacto directo entre la tierra y los dispersores; 5. Capa de betún 4 mm; 6. Cimentación/Base de H.A. (Gatti, 2012).



*Figura 34.* Centro de Ecología aplicada, Chile, con Inclusión de dispersores sísmicos en tapia pisada.

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

### **8.1 Herramientas y Materiales Utilizados en otros países**

Los materiales utilizados en general, son básicamente los mismos en todas las regiones, tierra o arcilla, agua, piedras y madera, pero según las particularidades de flora y climatización de cada región o lugar, se identificó inclusión de algunas materias primas alternas, que hacen que su proceso tenga un factor innovador, en la Figura 37 se pueden evidenciar algunos de ellos.

### 8.1.1 Formaleta y Herramientas

En los sistemas constructivos analizados, se determinó que las herramientas y equipos utilizados en varias regiones del mundo son los tradicionales: el encofrado o tapial de madera, el pisón y las cañas, pero en otros, han avanzado hacia el uso de formaletas metálicas que se pueden ensamblar con desplazamientos verticales facilitando el armado, añadiéndoles algunas modificaciones como las realizadas en China, con plantillas en L o T y alfileres, inclusive, países como Australia y Austria, presentan grandes avances en la incursión de la tecnología en esta técnica, logrando sistemas de encofrado más sofisticados y proceso de compactación más ágil, utilizando compactadores mecánicos, pisones neumáticos y vibratorios, prensas eléctricas y neumáticas, cintas transportadoras, compresores neumáticos de aire, máquinas mezcladoras, tractores y maquinaria industrializada para producción en masa, obteniendo una disminución de costos significativa en cuanto a mano de obra, tiempos de ejecución y tiempos de entrega de construcciones.

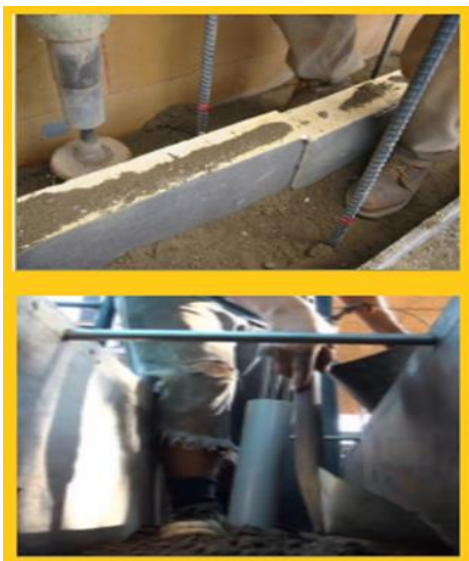


Figura 35. Algunos Ejemplos de Equipos y Herramientas utilizadas en el mundo

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).



*Figura 36.* Algunos Ejemplos de Equipos y Herramientas utilizadas en el mundo

Fuente: Arquitectura y Construcción en Tierra. (Gatti, 2012).

### **8.1.2 Material Tierra**

En los avances e innovaciones del material tierra a nivel internacional, se evidencia la aplicación de componentes investigativos, tecnológicos y científicos y la aplicación de estudios de curvas de granulometría con el fin de identificar proporciones ideales de cada material en la aplicación en tapia pisada y descubrir que materiales innovadores pueden ser incursionados para lograr mejoramientos en los sistemas de reforzamiento y los comportamientos físicos y mecánicos de los muros de tapia.

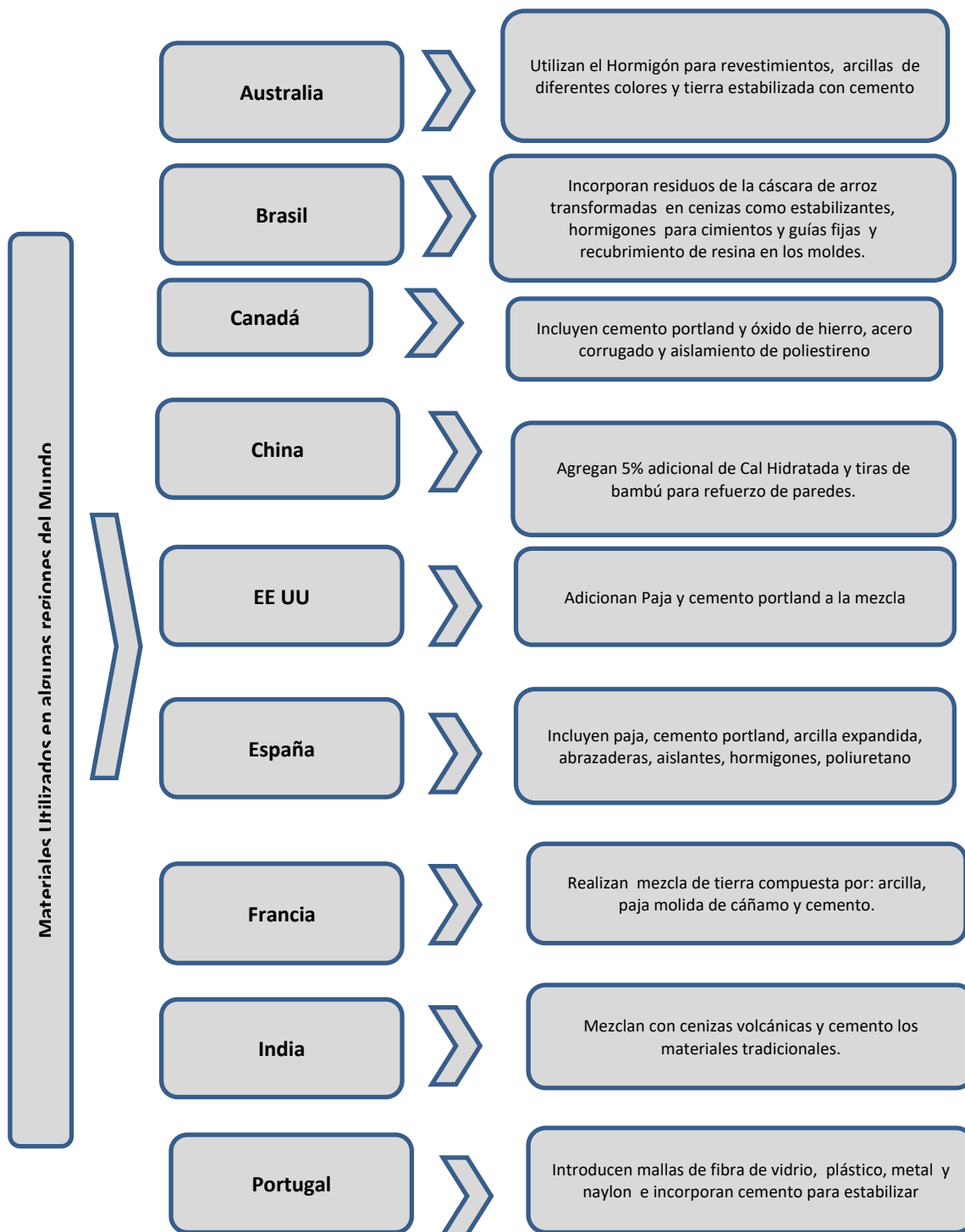


Figura 37. Materiales utilizados en algunos lugares el mundo.

Fuente: Elaborado por autor a partir de resultados de la revisión Bibliográfica.

## 8.2 Sistemas de Reforzamientos Estructurales

En cuanto a la aplicación de sistemas de reforzamiento estructural para mejorar comportamientos sísmicos se resaltan los siguientes:

- China: Colocan tiras de Bambú horizontalmente entre las paredes verticales y horizontales con un espacio de distancia no superior a 1 metro (Chen, y otros, 2020).

- España: refuerzan las uniones perpendiculares dejando a la vista clavijas, alfileres y cuñas para controles y mantenimientos posteriores. (Angulo-Ibáñez, 2017)

En edificios fortificados refuerzan con tres o cuatro maderas verticales o costales sobre las vigas de la construcción espaciadas a distancias de 82-85 cm y en edificaciones domésticas el sistema de refuerzo lo forman con vigas, cuñas, cuerdas y cruces de San Andrés. (Gil-Crespo, 2016).

En algunas construcciones colocan muros de carga paralelos a la fachada para soporte de forjado y viga cumbreira, losas de piso con puntales de madera de 15 cm de diámetro cada 50 cm, con soporte de relleno de bóveda de marga (adobe y marga) o de caña y argamasa encima de las vigas, refuerzan las paredes mediante puntales de madera y pasadores en el exterior de la pared que limitan su movimiento, pensado como una forma de absorber la presión de tracción localizada en las esquinas superiores de las juntas del muro donde no se encuentran vigas, aprovechando la presión de compresión ejercida por la riostra y los pasadores. (Angulo-Ibáñez, 2015)

- E.E.U.U: Refuerzan los muros con bambú equivalente a barras US #4(129 mm cuadrado), a 1.22 m de distancia tanto horizontal como verticalmente, aumentan la capacidad de tensión, corte y flexión para resistencia a terremotos con el refuerzo alternativo natural del bambú, también

incluyen un diseño de conexión de amarre de pared a techo adecuado para garantizar una trayectoria de carga y una transferencia de carga adecuadas. (Munshi, 2009)

- Australia y Austria: Incluyen vigas de hormigón armado o perfiles de acero amagado que ubican entre los muros.
- Canadá: Incluyen barras de acero corrugado como medio de refuerzo y fijación de un aislamiento de poliestireno extruido de 10 cm de ancho, colocados en el interior del tapial. (Gatti, 2012).
- Chile y E.E.U.U: Como mecanismo de reforzamiento y estabilización contra impactos horizontales sísmicos introducen por los cuerpos de los muros, tubos de plástico con hilos de acero que llegan hasta los cimientos y en la parte de arriba del muro, se enrollan en un tablón y se tensan con una varilla de acero. (Gatti, 2012).
- Perú: La universidad Católica del Perú, en conjunto con Fondos para la innovación, ciencia y tecnología, desarrollaron el manual de la técnica constructiva validada: proyecto n° 187-fincyt-fidecom- pimen 2012 “Mejoramiento de áreas de hospedaje de la Hacienda Santa María de Tarma, mediante la adaptación de la técnica contemporánea de tapial reforzado para la construcción con tierra sismo resistente (PUCP, 2014), donde implementaron como mecanismo de reforzamiento la viga collar que es un elemento de madera que conecta los muros de tierra entre sí, para que durante un sismo se muevan en conjunto. Esta viga *“funciona como un anillo que corre a lo largo de todos los muros, perimetrales y transversales, componiéndose de tramos de madera que simulan una escalera acostada.*

Los elementos estructurales más identificados fueron:

- Lineales o Unidimensionales: muros diseñados con piedra, bloques y ladrillo; columnas y pilares reforzadas en el interior con cemento, acero madera o bambú; columnas de hormigón

armado; vigas y dinteles de madera, acero, bambú, tierra armada y hormigón; Barras de arriostamiento de cruces de San Andrés, chapas de cobre, barras cruzadas, acero corrugado, varillas roscadas.

- Bidimensionales: Cimentaciones de piedra y concreto o de hormigón armado; muros de carga formados por bloque, ladrillo y reforzados con cemento; losas de hormigón, escaleras de tierra comprimida y concreto.

### **8.3 Componentes Administrativos**

La reciente tendencia mundial por disminuir el impacto ambiental que supone los métodos constructivos contemporáneos, ha aumentado la necesidad de desarrollar y mejorar técnicas de construcción sostenible de bajo costo y una de las características destacadas del sistema de tapia pisada es su rentabilidad, teniendo en cuenta que sus componentes y materias primas principales están disponibles naturalmente y a un costo comparativamente menor que los materiales artificiales.

En algunos artículos revisados, se evidencia que, a nivel internacional, realizan análisis de la característica costo-beneficio de este sistema constructivo, logrando consolidar organizadamente análisis de precios unitarios para llegar a conclusiones como que *“Se puede construir una estructura (por ejemplo, la pared de la casa) usando tierra apisonada en aproximadamente 1/5 de costo del requerido para la pared de piedra”*. (Totla, y otros, 2019) . Es evidente, que en otras regiones del mundo, presentan mayor interés y dedicación por conjugar elementos técnicos, investigativos, científicos, profesionales y económicos en el desarrollo de este sistema constructivo, visualizándolo como una oportunidad importante de generación de empleos, contribución a los temas de vivienda de interés social gubernamentales y a generar cambios socio

económicos en las regiones, por lo que los temas administrativos se desarrollan desde un nivel profesional con los conocimientos acordes para la realización de análisis adecuados.

Al rededor del mundo, la técnica constructiva de la tapia pisada, está siendo valorada nuevamente y con la combinación de la tecnología moderna, los constructores, arquitectos e ingenieros civiles, están logrando evoluciones interesantes, transformando este sistema constructivo ancestral en una alternativa viable tanto económica como ecológicamente.

La incorporación de cambios en el proceso y técnicas de este sistema constructivo ha sido en todos sus campos, desde la introducción de materias primas innovadoras hasta llegar a la prefabricación de los muros, lo que representa una evolución enorme, pues permite disminución de costos, contrarrestar factores climáticos, mejorar estética y calidad.

### **9. Comparativo Evolución e Innovación en otros países Vs. Barichara**

Siendo consecuentes con lo identificado en las fases anteriores, se denota un nivel de atraso en las técnicas utilizadas en el Municipio de Barichara con respecto a los avances logrados en otras regiones.

La técnica de la tapia pisada en el municipio de Barichara, a pesar de ser un ícono de su identidad, tradición y fuente importante de ingresos económicos para sus pobladores, como sistema constructivo está siendo relegado a ser utilizado como elemento complementario y estético, esto debido a la poca incursión de componentes tecnológicos, científicos e investigativos en el desarrollo de sus procesos, pues la falta de inclusión de técnicas, materiales y elementos que mejoren los sistemas sismo resistentes exigidos, hace que no sea avalado completamente por la Sociedad Colombiana de Ingeniería como un tipo de construcción anti sísmica para cumplir los requisitos normativos.

Las diferencias significativas se visualizan por ejemplo en temas como:

- En Barichara aún realizan las pruebas de composición y humedad al material tierra de manera empírica: “*a Ojo*” según indica el maestro Francisco Bayona o según el procedimiento del maestro Ivan Ramírez “*Lo que se hace es que se toma un puñado de tierra, se aprieta y se deja caer al piso, si la tierra no se desborona, tiene una humedad óptima...*”, mientras que internacionalmente realizan estudios científicos y pruebas de laboratorio como las curvas de granulometría.

- En Barichara las herramientas se han quedado en formaletas de madera y pisones de filo, por el contrario en otros lugares del mundo, ya utilizan pisones hidroneumáticos y formaletas metálicas con ensambles más dinámicos y fáciles.

- En la aplicación de reforzamientos estructurales a nivel internacional, utilizan muchos materiales modernos como vigas de hormigón e hilos de acero que estabilizan impactos sísmicos y logran una distribución uniforme de pesos o colocan sistemas de refuerzo en uniones perpendiculares, y en Barichara solo utilizan vigas, varas y colmillos de madera en posiciones determinadas, se centran en el cargue sentado en barro y las opiniones respecto a la utilización de materiales modernos es que “*no son compatibles*” según el maestro Nilson Suarez o como indicó el maestro Ivan Ramírez: “*No son semejantes, para mí no van a funcionar, al agregarle cemento a la tapia se va a dañar la parte rustica de la tapia*”

Adicionalmente, se suman factores como la falta de apoyo por parte del gobierno nacional para incentivar y fomentar el uso de este sistema, las falencias educativas y de información sobre la materia en los pobladores y la desigualdad de oportunidad comercial frente a las cementeras y empresas productoras de acero que influyen negativamente en la visión sobre la construcción en tierra.

Pero quizá el factor más relevante del atraso del sistema constructivo en Barichara, es la falta de aplicación de componentes y conceptos técnicos, pues la mayoría de las construcciones se realizan simplemente con los planos arquitectónicos bajo las directrices únicamente del maestro, evidenciándose la ausencia de los fundamentos de ingeniería, tan necesarios para que el desarrollo constructivo se genere bajo conceptos de ciencia y tecnología.

Otro de los motivos por los cuales la tapia no ha tenido cambios significativos en los últimos años en Barichara, se evidencia en la mentalidad de los mismos maestros y constructores, que se niegan a incluir nuevos materiales, a innovar en sus procesos, a formarse educativamente y adquirir conocimientos nuevos en la materia, quedándose solamente con los conocimientos ancestrales y transmitiendo a las nuevas generaciones la idea de que solo es un sistema tradicional, pero no visualizando las grandes oportunidades económicas que podrían surgir si se innova con las nuevas tecnologías.

Para que el sistema constructivo de la tapia pisada en Barichara presente desarrollos significativos a futuro, en primer lugar se debe avanzar desde lo académico y profesional, para que se generen progresos desde los componentes técnicos, trabajar en el cambio de mentalidad de los propios maestros y constructores, incursionar herramientas y equipos tecnológicos y realizar estudios e investigaciones formales con materiales que puedan ser incursionados al sistema para el mejoramiento sismo resistente.

## Conclusiones

- El sistema constructivo de Tapia pisada o de tierra apisonada como le llaman en otros lugares del mundo, está resurgiendo ya no solo como un sistema constructivo ancestral y vernáculo, sino como un sistema alternativo para los problemas medioambientales que presenta el planeta, por sus ventajas sobre todo en cuanto a su capacidad termodinámica, reciclaje de materiales y disminución de consumo de recursos naturales, que le da a las edificaciones un sentido de sostenibilidad, enlazándolas con las políticas de cuidado del medio ambiente.

- Teniendo en cuenta el panorama actual, si el sistema constructivo de la tapia pisada es empleado adecuadamente, se pueden lograr importantes avances sobre reducciones de consumo de energía tanto en el proceso productivo como el uso de las edificaciones, ya que por sus características térmicas logra una excelente estabilización de humedad y calor con el medio ambiente, además de reducción de emisiones de residuos.

- En la observación realizada sobre el uso de la técnica en el mundo, se identificó que el mayor interés está en los arquitectos y constructores europeos, de América del Norte y australianos, logrando ventajas significativas gracias al interés y participación investigativa, académica y profesional que introducen elementos de ingeniería, incursionando en sus procesos innovaciones tecnológicas, con el uso de tapiales industriales, formaletas metálicas, equipos mecánicos y neumáticos para el apisonamiento, demostrando así, que las construcciones en tapia

pisada se pueden lograr combinando los conocimientos ancestrales con los desarrollos tecnológicos, elevando el nivel de optimización de los procesos constructivos a través de herramientas como los pisones neumáticos y mecánicos, prensas eléctricas o los encofrados industrializados, además de incluir en las mezclas para el material tierra el componente científico, realizando curvas de granulometría, adición de aglutinantes alternativos, aditivos y tratamientos especiales para el mejoramiento de sus características de dureza, resistencia y compresión.

- La conclusión anterior, demuestra los avances importantes alcanzados en otros países, tanto en materiales como en herramientas y técnica, pues en las mezclas, han logrado gran estabilización con materias primas naturales o industriales, mejorando los factores de durabilidad y resistencia, con el uso de herramientas, disminuyeron tiempos y costos y con la combinación arquitectónica y de ingeniería obtuvieron edificaciones con características estéticas únicas y económicamente rentables.

- Una de las innovaciones más representativas ha sido la utilización del sistema de manera industrializada mediante la prefabricación en Austria, obteniendo resultados óptimos en calidad, estética, economía y el manejo de situaciones adversas como los factores climáticos.

- Los avances e innovaciones en el sistema en otras regiones del mundo, permiten visualizar la construcción en tapia desde esquematizaciones constructivas contemporáneas, mejorando los factores constructivos y el cumplimiento de normatividades existentes, con el fin de ser valorado como un sistema estructural en su totalidad y demuestran la importancia del desarrollo de estos sistemas constructivos con bases científicas, investigativas, tecnológicas y profesionales.

- En el caso del Municipio de Barichara, el sistema constructivo de la tapia esta visto como un elemento cultural que lo convierte en un ícono nacional; los conocimientos sobre la técnica son

transmitidos de generación en generación de forma empírica, conservando esa identidad cultural con sentido de pertenencia, pero no logrando la evolución requerida para que este sistema sea visto a nivel reglamentario como un sistema estructural valedero, ahondado esto, con los vacíos legales y normativos existentes que limitan las propuestas de reforzamiento estructural para inmuebles con este tipo de construcciones.

- La Tapia Pisada como sistema constructivo, se incluyó en el mercado inmobiliario en Barichara y sus alrededores hace aproximadamente 20 años a raíz del comportamiento positivo de la oferta y la demanda de este tipo de construcciones, pero en este lapso de tiempo, la innovación, las mejoras a nivel de procedimientos constructivos, sistemas de reforzamiento y elementos administrativos, han sido muy pocas, quedándose rezagados frente a otros lugares del mundo con menos antigüedad en el uso de este sistema constructivo (desde el punto de vista comercial) que tomaron ventajas competitivas, debiéndose esto principalmente, a que en Barichara, los procesos los han direccionado hacia la parte arquitectónica, sensorial y espacial, dejando de lado la fundamentación técnico-científica, pues la técnica está siendo manejada casi que un 99% por el maestro, quien posee valiosos conocimientos ancestrales y empíricos pero que no tiene fundamentos conceptuales ni tecnológicos para promover y generar desarrollos, innovaciones y avances en la materia.

- La construcción en tapia pisada en Barichara se encuentra en un nivel de innovación menor comparado con otras regiones del mundo, ya que no han incursionado en sus procesos herramientas y equipos tecnológicos, el material tierra lo manejan prácticamente igual a como se hacía hace más de 200 años, sin utilizar estudios científicos para su evaluación de granulometría, no utilizan materiales alternativos que provean mejores cualidades y sistemas de reforzamiento a sus edificaciones, ni anexan diseños estéticamente modernos, haciendo evidente

que los constructores y maestros que deseen mantener el legado y continuar con esta línea de construcción, requerirán no solo los conocimientos ancestrales, si no educación técnica-conceptual, pues para que un sistema constructivo desarrolle avances necesita ciencia y tecnología.

- Teniendo en cuenta la conclusión anterior, los maestros y constructores del municipio de Barichara, deberán reinventarse y trabajar arduamente en evolucionar sus técnicas para poder afrontar y adaptarse a las actuales y futuras modalidades de construcción y sus normativas.

- Al realizar el comparativo entre el nivel de innovaciones en otras regiones con el avance en Barichara, es evidente que no se han logrado evoluciones significativas, poniendo de manifiesto la ausencia de componentes profesionales, tecnológicos y científicos para lograrlos.

- A partir de los resultados de esta investigación, se genera un profundo cuestionamiento desde la perspectiva académica y profesional, determinando que es necesario un incremento de participación de las instituciones educativas y los entes investigativos, como parte del apoyo que requieren los involucrados en esta industria en el afianzamiento de conocimientos técnicos, para lograr avances e innovaciones tecnológicas, mediante estudios investigativos y experimentos científicos que conlleven a la identificación de materiales y elementos estructurales que proporcionen ventajas y características superiores al sistema constructivo.

## Recomendaciones

- Para que el municipio de Barichara logre un nivel más alto de innovación en el sistema constructivo de tapia pisada, deberá contar con el apoyo de instituciones educativas que se propongan realizar estudios investigativos y científicos, con el fin de encontrar materias primas, materiales y elementos que proporcionen mejores características de resistencia sísmica.
- Se sugiere que los tapieros de la región realicen un estudio económico sobre la viabilidad de introducir herramientas y equipos mecánicos y neumáticos en sus procesos constructivos.
- Tomando en consideración que este sistema constructivo hace parte de la identidad cultural de la región, la alcaldía y sus líderes sociales deberán propender por el mejoramiento de los conocimientos técnicos, mediante la realización de simposios, conferencias, talleres o reuniones donde la temática sea la exposición de casos de éxito y referentes de otros lugares del mundo, para que de esta manera los constructores amplíen su visión y sus expectativas.
- Realizar seminarios anuales, invitando a ingenieros y constructores de todo el mundo para que expongan y compartan sus avances e innovaciones, de esta manera los tapieros de Barichara adquirirían mayores conocimientos, el municipio tendría aún más reconocimiento turístico y los pobladores obtendrían beneficios económicos.
- Las pruebas y estudios científicos actuales están enfocados básicamente en las pruebas al concreto, se deben tener en cuenta las características y complejidades de las construcciones en tierra para aplicación de pruebas idóneas.

- Teniendo en cuenta que el sistema constructivo de la tapia pisada cuenta con poca resistencia a los esfuerzos de flexión y tracción, se propone desarrollar diseños enfocados en la solución de los problemas de sismo resistencia, donde se incluya el uso de materiales de refuerzo ya acreditados y utilizados en otras regiones del mundo.

- Para lograr desarrollos significativos es estrictamente necesario contar con los conceptos técnico científicos de los profesionales en ingeniería.

- El sistema constructivo de tapia pisada de Barichara requerirá de la inclusión de más ciencia y tecnología para lograr niveles de innovación que lo vuelvan a catalogar como referente mundial.

- En cuanto al manejo de componentes administrativos en los sistemas constructivos de tapia pisada, se sugiere a las partes involucradas, realizar a futuro una indagación más profunda de la temática.

## Bibliografía

- Afanador Garcia, N., Carrascal Delgado, M., & Bayona Chinchilla, M. (s.f.). *Experimentacion, comportamiento y modelacion de la tapia pisada* . Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v22n35/v22n35a05.pdf>
- Angulo-Ibañez, Q. (2015). Wooden reinforcement for earth constructions in. *Journal of Architectural Conservation*, 98-112.
- Angulo-Ibañez, Q. (2017). Performance Analysis of Wooden. *Periodica Polytechnica*, 882–888.
- CaminoSostenible. (s/f). *Tapia Pisada. TAPIA APISONADA O TAPIAL*. Obtenido de [http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/Tierra\\_pisada\\_%28Tapial%29.pdf](http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/Tierra_pisada_%28Tapial%29.pdf)
- CHEIKHI, W., BABA, K., LAMRANI, S., NOUNAH, A., KHALFAOUI, M., & BAHI, L. (2018). *Estudio de actuaciones en interiores de un edificio utilizando tierra apisonada* . Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/mateconf\\_cmss2018\\_02089.en.es.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/mateconf_cmss2018_02089.en.es.pdf)
- Chen, Z., Guo, Y., Zhang, L., Yan, J., Fu, W., Wan, J., & Tang, X. (2020). Research on Rural Community Construction with Modern. *Materials Science and Engineering*, 4-6.
- Gallego Lopez, J. (s.f). *Construccion de muros en tapia y bahareque* . Obtenido de [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/pdf/construccion\\_muros\\_tapias\\_bahareque.pdf](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/pdf/construccion_muros_tapias_bahareque.pdf)
- Gatti, F. (2012). *ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA. Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra*. Obtenido de Universidad Politécnica de Catalunya: <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

- Gil-Crespo, I.-J. (2016). Islamic fortifications in Spain built with rammed earth. *Construction History*, 1-22.
- Goris, G., & JA., S. (2015). *ene revista de enfermería*. Obtenido de UTILIDAD Y TIPOS DE REVISIÓN DE LITERATURA: <http://ene-enfermeria.org/ojs/index.php/ENE/article/view/495/guirao#:~:text=La%20revisi%C3%B3n%20bibliogr%C3%A1fica%20se%20ha,publicaci%C3%B3n%20o%20un%20trabajo%20espec%3ADfico>.
- Hardin, M., & Comella, J. (2006). The avenue of ideas: A sustainable, affordable housing experiment. *Journal of Green Building*, 39-47.
- Houben, H., Balderram, A., & S. S. (2004). Our earthen architectural heritage: Materials research and conservation. *Bóletin RMS*, 338-341.
- López, M., Tormo, E., & Pellicer, T. (2015). El sistema constructivo de los muros de la Torre Muza (Benifaio, España). *Arquitectura de tierra: pasado, presente y futuro - Actas de la Conferencia internacional sobre patrimonio vernáculo, sostenibilidad y arquitectura de tierra* (págs. 227-232). España: CRC Press / Balkema.
- Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. (s.f.). Obtenido de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Adobe\\_sistema\\_constructivo.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Adobe_sistema_constructivo.pdf)
- Milani, A. P., & Labak, L. C. (2012). Physical, Mechanical, and Thermal Performance of. *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, 775-782.
- Munshi, J. (2009). A Low-Cost Housing Option in Seismic Regions . *Structures 2009: Don't Mess with Structural Engineers*, 2741-2750.

- Nanz, L., Rauch, M., Honermann, T., & Auer, T. (2019). Impacts on the embodied energy of rammed earth façades during production and construction stages. *JOURNAL OF FACADE DESIGN AND ENGINEERING*, 75-88.
- Nardez Giraldo, M. (2018). *Analisis del comportamiento fisico mecanico de muros en tapia pisada con inclusion de biomasa residual* . Obtenido de [https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital\\_37584.pdf](https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_37584.pdf)
- Núñez Romero, B., & Mejía Parada, C. (2018). *Analisis del comportamiento estructural de la tecnica vernacula de muros en tapia pisada con inclusion de caña brava* . Obtenido de [https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital\\_36384.pdf](https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_36384.pdf)
- Oliveira, D. V., Silva, R. A., Barroso, C., & Lourenço, P. B. (2017). Characterization of a Compatible Low Cost Strengthening Solution Based on the TRM Technique for Rammed Earth . *Key Engineering Materials*, 150-157.
- Patnaikuni, I., Setunge, S., & Himabindu, M. (2013). Sustainable Housing Construction to Reduce Greenhouse Gas Emissions . *Applied Mechanics and Materials*, 1710-1714.
- ph. (s/f). *Barichara Piedras*. Obtenido de <https://pxhere.com/es/photo/1460989>
- Prado Rocha, R., & Melo Oliveira, P. (2019). *Descripción del uso de la tapia pisada con tierra estabilizada en australia* . Obtenido de <http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/download/652/616319>
- PUCP. (2014). *MANUAL DE LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA VALIDADA – TAPIAL Tarma*. Obtenido de Vicerectorado de Investigación Grupo del centro Tierra: <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ctierra/publicacion/manual-de-la-tecnica-constructiva-validada-tapial-tarma/>

*La tapia pisada una tecnica ancestral* . (s.f). Obtenido de

<https://reconstruyendotradicionecologica.wordpress.com/la-tapia-pisada-una-tecnica-ancestral/>

Semana. (2019). *¿Por qué Barichara ha logrado conservar su arquitectura?* Obtenido de

<https://www.semana.com/contenidos-editoriales/santander-es-su-gente/articulo/cuidado-del-patrimonio-arquitectonico-de-barichara/617727/>

SENA. (2012). *Albañilería en Restauración de Edificaciones Módulo: Recuperación de elementos y características arquitectónicas*. Obtenido de Centro de Industria y

Construcción Regional Caldas:

[https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_muros\\_tapia\\_bahareque.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_muros_tapia_bahareque.html#)

Serrano, S., Gracia, A. d., & Cabeza, L. (2016). Adaptation of rammed earth to modern

construction systems:Comparative study of thermal behavior under summer conditions.

*Applied Energy*, 180-188.

Serrano, S., Rincón, L., González, B., Navarro, A., Bosch, M., & Cabeza, L. (2017). Rammed earth walls in Mediterranean climate: Material characterization and thermal behaviour.

*International Journal of Low-Carbon Technologies* , Volumen 12, 281–288.

Serrano, S., Rincón, L., González, B., Navarro, A., Bosch, M., & Cabeza, L. (2017). Rammed earth walls in Mediterranean climate: Material characterization and thermal behaviour.

*International Journal of Low-Carbon Technologies* , 281–288.

Silva Rojas, L., Vecino Torres, P., & Jimenez, H. (2018). *La tapia pisada como tecnica constructiva vernacula*. Obtenido de

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13851/2018pedrovecinoluissilva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tapia, P., & Imitola Castillo, R. (2012). *Construcción de muros en tapia y bahareque* . Obtenido de

[https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_muros\\_tapia\\_bahareque.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_muros_tapia_bahareque.html#)

Totla, P., Sadwilkar, M., More, S., Kallada, B., Deshmukh, B., & Puranik, A. (2019). Sustainable Rammed Earth Structure: A Structurally Integral, Cost-Effective And Eco-Friendly Alternative to Conventional Friendly Alternative to Conventional construction Material. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 453-458.

Tucson.com. (2006). *'Back 40' built Earth-friendly. UA architecture students learned from guesthouse*. Obtenido de Tucson. Com: [https://tucson.com/lifestyles/home-and-garden/back-40-built-earth-friendly/article\\_f6ea54ee-e3e5-5530-a623-29583689bf95.html](https://tucson.com/lifestyles/home-and-garden/back-40-built-earth-friendly/article_f6ea54ee-e3e5-5530-a623-29583689bf95.html)

Van Damme, H., & Houben, H. (2017). *Hormigón de tierra. Estabilización revisada* . Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1-s2.0-S0008884616308365-main.en.es.pdf>

VonMag, A., & Rauch, M. (2011). Rammed earth walls and its industrialization (formworks and ramming systems). *nformes de la Construcción*, 35-40.

Vyncke, J., Kupers, L., & Denies, N. (2018). Earth as Building Material - An overview of RILEM activities and recent Innovations in Geotechnics. *2do Congreso Internacional de Materiales y Estabilidad Estructural* (pág. 5). Marruecos: CMSS.

Yamin Lacouture, L., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J., & Ruiz Valencia, D. (2007). *Estudio de vulnerabilidad sismica, rehabilitacion y refuerzo de casa en adobe y tapia pisada* .

Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/8984-

Texto%20del%20art%C3%ADculo-34110-1-10-20140710.pdf

## Apéndices

### Apéndice A. Entrevista al Maestro Ivan Ramírez

1. ¿Qué es la tapia pisada?

Es un sistema constructivo con el método más limpio para una obra, porque no se va a contaminar, el material es orgánico, la tierra sale del mismo terreno de la obra en muchas ocasiones.

2. ¿Para qué se utiliza la tapia pisada?

Para ser todo tipo de estructuras como casa, cerramientos y quioscos

3. ¿De dónde provino el conocimiento que tiene en estos momentos sobre la tapia pisada?

El maestro Clímaco y Carlos Gualdron, maestros antiguos de la región que han infundido la cultura a los más jóvenes

4. ¿Cómo es el proceso constructivo de la tapia pisada?

Se revisa si el terreno donde se va a trabajar tiene material apto para ser utilizado y si no se debe mandar traer, después se pone la tierra a punto, donde se debe humedecer y dejar reposar el día anterior. Se arma el tapial y se empieza a colocar capaz de tierra para ser apisonadas, donde se debe tener en cuenta la colocada de la caña longitudinalmente como transversalmente, también se le coloca los colmillos en las juntas para dar la traba, finalmente se deja secar y se sigue con el siguiente bloque de tierra.

5. ¿Qué herramientas y materiales se utilizan para realizar este método?

Tapial de madera

Agujas metálicas

Pisón de filo de madera

Lasos

Tierra

Caña

Cuñas

6. ¿Qué cimienta es recomendable para una edificación en tapia pisada?  
Siempre recomiendo el método antiguo el cual es el cargue, que es la piedra encarrada y sentada en barro.
7. ¿Qué son las botas y el sombrero en una edificación de tapia pisada?  
El sombrero es el techo y las botas el cargue.
8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de este método constructivo?  
Todas son ventajas, es termodinámica, el costo es menor o igual a construir en ladrillo, el material es reutilizable. La única desventaja es para las personas que sufren de rinitis que le afecta el olor a tierra
9. ¿Qué compone un tapial?  
4 hojas de madera 3 agujas metálicas, 3 palos que están en las puntas, las cuñas, pisón de madera
10. ¿Qué medidas debe tener el tapial y de qué dependen estas?  
Largo 2.20 m  
  
Alto 1.10 m  
  
Ancho puede variar 0.45 m ,0.5 m ,0.6, 0.7m, estas dependen del ancho que se escoja a la hora de construir
11. ¿Cuáles son las funciones de las cuñas?  
Es de los factores más importantes en el tapial, porque aprietan el tapial al momento de pisar sin dejar que se abra este y también dan la nivelación del tapial
12. ¿Cuál es la humedad específica de la tierra para poder realizar la construcción en tapia?  
La humedad la miden a mano, por lo cual no tiene un valor calculado. Lo que se hace es que se toma un puñado de tierra, se aprieta y se deja caer al piso, si la tierra no se desborona, tiene una humedad óptima, teniendo en cuenta que tampoco de quedar melcochuda como lo dicen los maestros

13. ¿Que son las trabas y que función tienen en la estructura de tapia pisada?  
Son las que no permiten que haya dilataciones y si las hay no dejan que la dilatación continúe a lo alto de la pared.
14. ¿De qué material es el pisón y que medidas tiene?  
De madera es de 1.8 m de alto el peso varía depende a la persona
15. ¿Cuánta es la altura de cada capa de tierra y cuantos golpes se deben dar para dar un buen afirmado?  
Aproximadamente 3 a 4 cm y los golpes son más de 30 por cada capa, más las pisadas de los pies
16. ¿Qué materiales se utilizan para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistentes?  
El cargue sentado en barro, porque no deja que la energía sísmica suba por la pared, ya que esta disipa, contrario del de concreto que es rígido y transmite todo el sismo
17. ¿se trabaja en base a alguna normativa o solo con el conocimiento ancestral?  
Solo conocimiento ancestral.
18. ¿se ha implementado nuevos materiales para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistente? ¿Cuáles?  
No, solo han tratado de cambiar las formaletas por los tapiales y ultimar ranas, pero no ha funcionado.
19. ¿Cómo funciona la tapia pisada con el concreto?  
No son semejantes, para mí no van a funcionar, al agregarle cemento a la tapia se va a dañar la parte rustica de la tapia.
20. ¿Cómo función la tapia pisada con el acero? ¿Por ejemplo, pegar un muro de tapia a una columna de acero?  
No funciona, siempre he trabajado el método conocido.
21. ¿Es más, o menos costoso construir con tapia pisada que con ladrillo y cemento?  
Es igual o menos costoso si la tierra está en el terreno.
22. ¿Usted vive en una casa de qué material?  
Mi casa es de tapia pisada, tiene adobe y bareque, una casa de 120 metros cuadrados se demora 3 meses, entregándola lista
23. ¿Si no vive en casa de tapia pisada, cual es la razón?

24. ¿Si tuviera la oportunidad de vivir en casa de tapia pisada, lo haría?

25. ¿Cuánto dura una casa de tapia pisada?

Más de 200 años, esto depende del cuidado que se tenga y el mantenimiento al techo,

ya que si se encuentran goteras estas dañan rápidamente los muros.

## Apéndice B. Entrevista al Maestro Nilson Suarez

1. ¿Qué es la tapia pisada?  
El arte que identifica Barichara y toda la provincia
2. ¿Para qué se utiliza la tapia pisada?  
Para construcción de viviendas
3. ¿De dónde provino el conocimiento que tiene en estos momentos sobre la tapia pisada?  
Este proviene del maestro Alfonso, Martín Prada y de muchos años de trabajar con este método
4. ¿Cómo es el proceso constructivo de la tapia pisada?  
Armar el tapial y aplomar este con el fin de que no quede nada torcido y empezar a echarle tierra y pisón hasta completar el tapial, agregar la caña y arreglar la tierra
5. ¿Qué herramientas y materiales se utilizan para realizar este método?  
Las hojas del tapial  
  
La tierra  
  
La plomada  
  
Las cuñas  
  
Las compuertas
6. ¿Qué cimiento es recomendable para una edificación en tapia pisada?  
Hacer las chambas y echarle un concreto ciclópeo y después hacer el cargue, el cual es piedra encarrilada con un poco de cemento
7. ¿Qué son las botas y el sombrero en una edificación de tapia pisada?
8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de este método constructivo?  
Todas son ventajas, son más resistentes a un temblor, son térmicas, ya que en la noche guarda el frío y lo expulsa en el día, dando frescura a la casa y en el día guarda calor y lo ofrece en la noche para dar una mejor comodidad

9. ¿Que compone un tapial?

Las hojas

Los costados

Las agujas de varilla

Las agujas de madera

Las compuertas

Los lasos

Las cuñas

10. ¿Qué medidas debe tener el tapial y de que dependen estas?

2.3 m de largo

1.2 m de alto

0.45 m de ancho en adelante hasta 1 m

11. ¿Cuáles son las funciones de las cuñas?

Son las más importantes, estas aprietan el tapial y no dejan que se desnivele

12. ¿Cuál es la humedad específica de la tierra para poder realizar la construcción en tapia?

Ni muy seca ni muy mojada, en mi caso me gusta que quede húmeda, por la facilidad

para trabajar y no deja que se cuartee las paredes

13. ¿Que son las trabas y que función tienen en la estructura de tapia pisada?

Son las cañas, las cuales se colocan en corta y larga dirección, para que no se abra ni

se deje dilatar y también se coloca el colmillo para que no siga la dilatación del bloque

anterior

14. ¿De qué material es el pisón y que medidas tiene?

Es de madera y mide 1.5 m o 1.6 m, es cuadrado

15. ¿Cuánta es la altura de cada capa de tierra y cuantos golpes se deben dar para dar un buen afirmado?

De unos 10 cm, se le echan los más golpes que se pueda, eso e mira a ojo

16. ¿Qué materiales se utilizan para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistentes?

La caña, también se le colocan vigas, se le meten varas de madera de unos 3 metros para que la pared no se deje abrir

17. ¿se trabaja en base a alguna normativa o solo con el conocimiento ancestral?  
Solo conocimiento ancestral

18. ¿se ha implementado nuevos materiales para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistentes? ¿Cuáles?  
Cuando trabaje con un arquitecto, este le metió vigas y columnas amarrando los muros con unas maderas atornilladas

19. ¿Cómo funciona la tapia pisada con el concreto?  
No es recomendable, no son compatibles

20. ¿Cómo función la tapia pisada con el acero? ¿Por ejemplo, pegar un muro de tapia a una columna de acero?  
No trabajan

21. ¿Es más, o menos costoso construir con tapia pisada que con ladrillo y cemento?  
Depende si la tierra se compra, sale al mismo precio, pero si se saca del mismo terreno que se va a construir, sale más barato

22. ¿Usted vive en una casa de qué material?  
En el momento de ladrillo

23. ¿Si no vive en casa de tapia pisada, cual es la razón?  
La zona donde vivo no da el espacio para construir en tapia

24. ¿Si tuviera la oportunidad de vivir en casa de tapia pisada, lo haría?

Claro, es mejor

25. ¿Cuánto dura una casa de tapia pisada?  
Son demasiados años, hay casa que llevan más de 200 años

### Apéndice C. Entrevista al Maestro Francisco Bayona

1. ¿Qué es la tapia pisada?  
Esta se hace en tierra se le mete traba y se pisa, hasta dar la forma del bloque
2. ¿Para qué se utiliza la tapia pisada?  
Construcción de casas
3. ¿De dónde provino el conocimiento que tiene en estos momentos sobre la tapia pisada?  
De la región, el difunto quiñones y el maestro Clímaco
4. ¿Cómo es el proceso constructivo de la tapia pisada?  
Se debe seleccionar la tierra, después echarle agua para que quede buena, después armar el tapial y meterle la tierra y cada 30 centímetros echarle la caña para que quede más firme, se debe aplomar bien.
5. ¿Qué herramientas y materiales se utilizan para realizar este método?  
El tapial  
  
Los pisones  
  
Las compuertas  
  
La plomada
6. ¿Qué cimiento es recomendable para una edificación en tapia pisada?  
Debe hacerse una chamba hasta encontrar piso firme y se coloca viga de amarre, por último, se hace el cargue
7. ¿Qué son las botas y el sombrero en una edificación de tapia pisada?  
El techo y la cimentación y el cargue. El techo con una caída del 30 %
8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de este método constructivo?  
Son frescas las casas  
  
No tiene ningún desperfecto
9. ¿Que compone un tapial?  
Los costados  
  
Las compuertas

Cuñas

Parales

Lasos

Pisón

10. ¿Qué medidas debe tener el tapial y de que dependen estas?

2.2 metros de largo

1 metro de alto

0.45 metros de ancho, es lo que se utiliza últimamente

11. ¿Cuáles son las funciones de las cuñas?

Apretar el tapial para que quede parejas las paredes y con el mismo anchor de 45 centímetros

12. ¿Cuál es la humedad específica de la tierra para poder realizar la construcción en tapia?

Se mira a ojo, se humedece hasta que no se deje desboronar

13. ¿Que son las trabas y que función tienen en la estructura de tapia pisada?

Son los colmillos y no dejan que se caigan las paredes y la caña también se mete en forma de cruz

14. ¿De qué material es el pisón y que medidas tiene?

Es de madera, la punta es filuda y mide más o menos 1.5 metros

15. ¿Cuánta es la altura de cada capa de tierra y cuantos golpes se deben dar para dar

Capaz de 7 centímetros y más o menos unos 100 golpes o mas

16. ¿Qué materiales se utilizan para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistentes?

Los cimientos, el cargue no puede quedar en falso

17. ¿se trabaja en base a alguna normativa o solo con el conocimiento ancestral?

Solo conocimiento, a veces revisan los ingenieros

18. ¿se ha implementado nuevos materiales para el mejoramiento de sus propiedades sismo resistente?

En las dilataciones se colocan pedazos de teja partida, para apretar más las paredes y

las piedras como forma de cuña

19. ¿Cómo funciona la tapia pisada con el concreto?  
Solo trabajar para el cimientto, estos dos materiales no se quieren
20. ¿Cómo función la tapia pisada con el acero? ¿Por ejemplo, pegar un muro de tapia a una columna de acero?  
No son compatibles
21. ¿Es más, o menos costoso construir con tapia pisada que con ladrillo y cemento?  
Sale más barato, se ahorra varilla, cemento, arena y demás
22. ¿Usted vive en una casa de qué material?  
Casa de ladrillo
23. ¿Si no vive en casa de tapia pisada, cual es la razón?  
El san Luis que es el barrio donde vivo, no dejaron construir en tapia
24. ¿Si tuviera la oportunidad de vivir en casa de tapia pisada, lo haría?  
Si claro, es más fresco
25. ¿Cuánto dura una casa de tapia pisada?  
Duran demasiados años, creería que más de 150 años

**Apéndice D. Material Fotográfico recopilado Construcciones Maestro Ivan Ramírez**







**Apéndice E. Material Fotográfico recopilado Construcciones Maestro Nilson Suarez**

**Apéndice F. Material Fotográfico recopilado Construcciones Maestro Francisco Bayona**

Nota: No se pudo tomar mucha evidencia fotográfica por falta de otorgamiento de permisos del propietario del Predio.

