



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

**PROTOTIPO DE TAPIAL PREFABRICADO ALIVIANADO
ADAPTADO A LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE LA
PARROQUIA EL CABO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTA**

AUTOR: DANIELA ISABEL GUACHUN ACEBEDO

DIRECTOR: ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ

AZOGUES - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Daniela Isabel Guachun Acebedo portadora de la cédula de ciudadanía N° **0302491832**. Declaro ser el autor de la obra: **“Prototipo de tapial prefabricado alivianado adaptado a las características del suelo de la parroquia El Cabo”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **05 de junio de 2024**

F: 

Daniela Isabel Guachun Acebedo

C.I. 0302491832

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá

DOCENTE DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA - SEDE AZOGUES

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Prototipo de tapial prefabricado alivianado adaptado a las características del suelo de la parroquia El Cabo**", realizado por: **Daniela Isabel Guachun Acebedo**, con documentos de identidad: **0302491832**, previo a la obtención del título de **Arquitecta** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 05 de junio de 2024



ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ

0103751780

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Arq. Andres Venegas, por su invaluable orientación y apoyo a lo largo de este proyecto. También extiendo mi gratitud a mis docentes, quienes con su paciencia, motivación y consejos me han ayudado a alcanzar este logro. Finalmente agradezco a toda mi familia que me ha apoyado de manera incondicional en este largo camino.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Ana y Luis, por su amor incondicional, su constante apoyo y sus sacrificios, que han sido la base a todos mis logros. A mi hijo Miguel, quien es mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante. A la memoria de mi papito Ricardo, quien siempre estará en mi corazón. A mi segundo papá, Rene, que me ha apoyado desde el momento que llego a mi vida. A mis hermanos María, Danilo, Patricio, Fernando y Andres por su amor y apoyo. A mis tías Carmen, Rosa y Silvia, por estar siempre presentes en mi vida apoyándome y brindándome su cariño.

Prototipo de tapial prefabricado alivianado adaptado a las características del suelo de la parroquia El Cabo

Daniela Isabel Guachun Acebedo – Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Mgs.
Universidad Católica de Cuenca diguachuna32@est.ucacue.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo se basa en desarrollar y evaluar un prototipo de tapial prefabricado alivianado adaptado a las características del suelo de la parroquia El Cabo, Paute, Ecuador; con el propósito de abordar los problemas asociados a la construcción con tierra mediante la reducción del peso y tiempo del proceso de fabricación del tapial. Esta investigación, de carácter experimental e investigativo, inicia con el análisis teórico y normativo de la construcción con tierra a través de una revisión bibliográfica para respaldar el desarrollo de la propuesta. Luego, se identifican las zonas con mayor presencia de arquitectura en tierra en la parroquia para obtener la materia prima, la cual es sometida a ensayos empíricos y de laboratorio para definir el suelo más adecuado, resultando la zona 3 Bellavista como la más idónea. Posteriormente, se procede al diseño, fabricación y evaluación de tres propuestas de diseño para verificar su adaptación al suelo local. Los resultados revelaron heterogeneidad en la resistencia a la compresión y aspecto visual de los diseños, siendo el diseño 2 el que logra alcanzar los estándares establecidos por la norma NZS 4298, sin embargo, no se logra cumplir plenamente con la norma SAZS 724. Se concluye que, aunque se logra cierto grado de adaptación al suelo local y reducción del peso y tiempo de ejecución del tapial, se requiere una mayor tecnificación en los procesos de fabricación para alcanzar niveles óptimos de resistencia.

Palabras Clave: Tapial prefabricado alivianado, prefabricación, resistencia a la compresión, construcción con tierra.

Prototype of a Prefabricated, Lightened Rammed Earth Wall Adapted to the Soil Characteristics of the El Cabo Parish

Daniela Isabel Guachun Acebedo - Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Arch. Mag.
Catholic University of Cuenca diguachuna32@est.ucacue.edu.ec

ABSTRACT

This work is based on developing and evaluating a prototype of a prefabricated lightweight rammed earth wall adapted to the soil characteristics of El Cabo parish, Paute, Ecuador, to address the problems associated with earth construction by reducing the weight and time of the wall manufacturing process. This research, of an experimental and investigative nature, begins with the theoretical and normative analysis of earth construction through a bibliographic review to support the development of the proposal. Then, the areas with the most significant presence of earthen architecture in the parish are identified to obtain the raw material and are subjected to empirical and laboratory tests to define the most suitable soil, resulting in zone 3 Bellavista as the most appropriate. Subsequently, three design proposals were developed, manufactured, and evaluated to verify their adaptation to the local soil. The results revealed heterogeneity in the compressive strength and visual appearance of design 2 meeting the standards established by the NZS 4298 standard. However, full compliance with the SAZS 724 standard is not achieved. It is concluded that, although a certain degree of adaptation to the local soil and reduction of the weight and execution time of the wall is completed, a greater degree of technification in the manufacturing processes is required to reach optimum strength levels.

Keywords: Prefabricated lightweight reinforced concrete wall, prefabrication, compressive strength, earth construction.



ÍNDICE DE CONTENIDO	
DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	1
CERTIFICACION DEL DIRECTOR	2
AGRADECIMIENTO.....	3
DEDICATORIA	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE MAPAS.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS	9
PROBLEMÁTICA	11
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS	13
General.....	13
Específicos	14
METODOLOGÍA.....	14
HIPÓTESIS.....	16
1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO.....	18
1.1. Breve Cronología de la Construcción en Tierra	18
1.1.1. Construcción con Tierra a Nivel Mundial	18
1.1.2. Construcción con Tierra a nivel Nacional	20
1.1.3. Construcción con Tierra a Nivel Local.....	22
1.2. Técnicas constructivas con tierra: Tapial	26
1.2.1. Tapial Ancestral.....	26
1.2.2. Técnicas Contemporáneas	28
1.3. Normas de construcción con tierra	32
1.4. Tapial prefabricado.....	41
1.4.1. Concepto.....	41

1.4.2.	Proceso constructivo.....	42
1.4.3.	Principales referentes y sus obras.....	44
1.5.	Tapial Alivianado	47
1.5.1.	Concepto.....	47
1.5.2.	Proceso constructivo.....	47
1.5.3.	Materiales Aligerantes.....	50
1.6.	Tipos de ensayos y pruebas de laboratorio.....	52
1.6.1.	Ensayos Empíricos o de campo	53
1.6.2.	Ensayos de laboratorio.....	56
2.	CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	60
2.1.	Sectorización de construcción con tierra en la parroquia El Cabo.....	60
2.1.1.	Zona 1: Cabo Centro	61
2.1.2.	Zona 2: Llapzhun.....	62
2.1.3.	Zona 3: Bellavista.....	63
2.1.4.	Zona 4: Tacapamba	64
2.2.	Análisis de las muestras.....	65
2.2.1.	Ensayos empíricos o de campo.....	65
2.2.2.	Ensayo de laboratorio	71
3.	CAPÍTULO III: DISEÑO, FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN	79
3.1.	Diseño del prototipo del tapial prefabricado alivianado.....	79
3.1.1.	Alivianar	79
3.1.2.	Prefabricar	83
3.2.	Fabricación del prototipo.....	84
3.2.1.	Proceso de fabricación.....	84
3.3.	Evaluación del prototipo.....	86
3.3.1.	Ensayo de resistencia a la compresión	86
3.3.2.	Ensayo de resistencia a la abrasión	87
3.3.3.	Pruebas visuales.....	87
3.3.4.	Evaluación de resultados	89
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Construcciones con tierra a nivel local.....	22
Tabla 2	Normas internacionales de construcción con tierra.....	33
Tabla 3	Resistencia a la compresión del tapial según normas internacionales.....	41
Tabla 4	Obras en Tapial Prefabricado-Martin Rauch.....	44
Tabla 5	Obras de tapial prefabricado-Nicolas Meunier.....	46
Tabla 6	Materiales aligerantes para tapial alivianado.....	50
Tabla 7	Ensayos de campo sensoriales.....	53
Tabla 8	Ensayos de Campo Estandarizados	55
Tabla 9	Tipos de ensayos de laboratorio	56
Tabla 10	Ensayo de Olor, Mordedura o gusto y Visual	65
Tabla 11	Ensayo de Lavado o Tacto	66
Tabla 12	Prueba Visual con tabla Munsell	67
Tabla 13	Ensayo de Corte.....	68
Tabla 14	Ensayo de adhesión	69
Tabla 15	Ensayo de cinta de barro o rollo	70
Tabla 16	Ensayo de sedimentación	71
Tabla 17	Ensayo Granulométrico	72
Tabla 18	Ensayo de consistencia de suelo límite líquido	74
Tabla 19	Ensayo de consistencia de suelo límite plástico	75
Tabla 20	Elaboración de muestra de tapial de las zonas de estudio	76
Tabla 21	Materiales, herramientas y equipo para fabricación del prototipo	84
Tabla 22	Ensayo de resistencia a la compresión diseño 1,2 y 3.....	86
Tabla 23	Ensayo de resistencia a la abrasión diseño 1,2 y 3.....	87
Tabla 24	Pruebas visuales diseño 1,2 y 3	87
Tabla 25	Análisis de resultados de las pruebas visuales diseño 1, 2 y 3	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Delimitación del área de estudio.....	12
Figura 2	Línea de tiempo construcción con tierra a nivel mundial	20
Figura 3	Técnicas constructivas con tierra en el Ecuador	21
Figura 4	Construcciones con tierra a nivel local	25
Figura 5	Encofrados para barro apisonado	26
Figura 6	Técnicas tradicionales del tapial	28
Figura 7	Tapial prefabricado	29
Figura 8	Sistema de tapia aislada	30
Figura 9	Sistema de tapial postensado	30
Figura 10	Detalle constructivo de muro de tapia con dispersores sísmicos.....	31
Figura 11	Proceso constructivo del tapial prefabricado	42
Figura 12	Proceso de prefabricación del tapial con compactador aéreo	43
Figura 13	Maquinaria para fabricación automatizada de sillares de tapia	45
Figura 14	Proceso de fabricación de tapial alivianado	48

Figura 15	Proceso constructivo de tapial de barro alivianado con paja	49
Figura 16	Horizontes principales del suelo	52
Figura 17	Tabla Munsell	54
Figura 18	Registro fotográfico de Zona 1	61
Figura 19	Registro fotográfico de Zona 2	62
Figura 20	Registro fotográfico de Zona 3	63
Figura 21	Registro fotográfico de Zona 4	64
Figura 22	Diseño 1 prototipo de tapial prefabricado alivianado	80
Figura 23	Diseño 2 prototipo de tapial prefabricado alivianado	81
Figura 24	Diseño 3 prototipo de tapial prefabricado alivianado	82
Figura 25	Diseño del modelo de prefabricación.....	83
Figura 26	Proceso constructivo del prototipo de tapial prefabricado alivianado	85

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1	Zonas de estudio	60
Mapa 2	Construcciones con tierra Zona 1	61
Mapa 3	Construcciones con tierra Zona 2	62
Mapa 4	Construcciones con tierra Zona 3	63
Mapa 5	Construcciones con tierra Zona 4	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Ensayo granulométrico Zona 1: El Cabo Centro	112
Anexo 2	Curva granulométrica Zona 1: El Cabo Centro	112
Anexo 3	Ensayo Límite líquido Zona 1: El Cabo Centro	113
Anexo 4	Ensayo Límite plástico Zona 1: EL Cabo Centro	113
Anexo 5	Diagrama ensayo de compresión Zona 1: El Cabo Centro.....	114
Anexo 6	Ensayo granulométrico Zona 2: Llapzhun.....	115
Anexo 7	Curva granulométrica Zona 2: Llapzhun	115
Anexo 8	Ensayo Límite líquido Zona 2: Llapzhun	116
Anexo 9	Ensayo Límite plástico Zona 2: Llapzhun	116
Anexo 10	Diagrama ensayo de compresión Zona 2: Llapzhun.....	117
Anexo 11	Ensayo granulométrico Zona 3: Bellavista.....	118
Anexo 12	Curva granulométrica Zona 3: Bellavista	118
Anexo 13	Ensayo Límite líquido Zona 3: Bellavista	119
Anexo 14	Ensayo límite plástico Zona 3: Bellavista	119
Anexo 15	Diagrama ensayo de compresión Zona 3: Bellavista.....	120
Anexo 16	Ensayo granulométrico Zona 4: Tacapamba	121
Anexo 17	Curva granulométrica Zona 4: Tacapamba.....	121
Anexo 18	Ensayo Límite líquido Zona 4: Tacapamba.....	122
Anexo 19	Ensayo Límite plástico Zona 4: Tacapamba.....	122
Anexo 20	Diagrama ensayo de compresión Zona 4: Tacapamba	123
Anexo 21	Diagrama ensayo de compresión Diseño 1.....	124

Anexo 22	Diagrama ensayo de compresión Diseño 2.....	125
Anexo 23	Diagrama ensayo de compresión Diseño 3.....	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Análisis de resultados de ensayos de resistencia a la compresión.....	89
Gráfico 2	Diagrama de carga contra desplazamiento diseño 1,2 y 3.....	90
Gráfico 3	Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la abrasión.	91

PROBLEMÁTICA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La parroquia El Cabo enfrenta un desafío significativo relacionado con la falta de alternativas de construcción eficientes, sostenibles y respetuosas con el entorno cultural y natural de la región. Según el ingeniero Gabriel Pons (2020), la construcción tradicional en tierra, que es una alternativa sostenible, está siendo reemplazada por materiales como, hierro y concreto, los cuales, como menciona Andrea Marín (2021), contribuyen en un 56% a la contaminación de las ciudades. Esta adopción de materiales que se ha dado especialmente por factores económicos y de velocidad en la construcción, indican que la problemática principal consiste en la falta de eficiencia en términos de peso de las estructuras construidas con tierra y su tiempo de construcción y fabricación.

Esto resalta la urgencia de encontrar soluciones justas y viables que respalden la diversidad cultural y protejan el medio ambiente, así como la necesidad de incorporar alternativas que permitan disminuir el peso y mejorar los procesos de fabricación de la construcción en tierra sin comprometer su integridad y sostenibilidad. Abordar esta problemática es esencial para reactivar la aplicación de la tierra como material de construcción y para promover la construcción sostenible.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto plantea desarrollar una solución basada en el diseño y construcción con tierra, por lo que se propone un prototipo de tapial prefabricado alivianado, adaptado a las características de los suelos de la parroquia El Cabo. Dado que en el Ecuador no existen normas específicas para la construcción con tierra, se recurre a referencias internacionales, como la norma peruana NTE E 080 y la SAZS 724. El enfoque incluye una investigación teórica, identificación de áreas idóneas para la extracción de materiales locales y la caracterización de suelos a través de pruebas de laboratorio. Se elaboran y

evalúan muestras de cada suelo seleccionado para la fabricación del prototipo a escala 1:1, que incorporará PVC y cabuya como materiales aligerantes, para finalmente evaluar su resistencia a la abrasión y compresión. El tapial prefabricado alivianado se ha usado como alternativa contemporánea que sustituye los sistemas constructivos convencionales aportando al cuidado al medio ambiente y siendo una alternativa eficiente tanto estructural como ambientalmente.

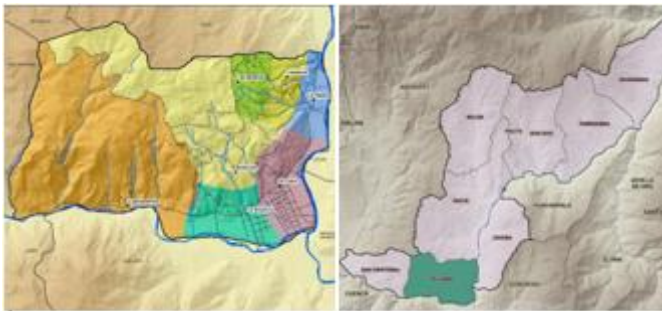
DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La parroquia El Cabo, ubicada dentro del cantón Paute, tiene límites al norte con la cabecera cantonal de Paute y el cantón Azogues, al sur con Gualaceo, al este con la parroquia Chicán y Gualaceo, y al oeste con la parroquia San Cristóbal. Esta abarca un área de 22,31 km² y se conforma por 7 comunidades con un valioso patrimonio cultural, y en donde la arquitectura en tierra es la que representa a cada una de ellas.

Se seleccionan 4 de las 7 comunidades, optando por aquellas que presentan mayor cantidad de construcciones con tierra, con el propósito de tomar muestras que se someterán a pruebas y ensayos de laboratorio para el desarrollo y producción del prototipo.

Figura 1

Delimitación del área de estudio



Nota. Tomado de *PDOT EL CABO 2019-2023*

JUSTIFICACIÓN

La arquitectura en tierra es una práctica tradicional que se ha empleado a lo largo de la historia. Caracterizada por su abundancia y accesibilidad. No obstante, ha sido reemplazada por materiales que, debido a su bajo costo y su rápida ejecución, han opacado esta técnica, que presenta desafíos como la falta de normas específicas, así como la del peso de las edificaciones y el proceso constructivo lento.

El estudio presenta varios aspectos favorables que facilitan la ejecución del proyecto. En primer lugar, se basa en técnicas tradicionales que son conocidas y utilizadas por la población local, por lo que se lo puede ejecutar con materiales locales en este caso procedentes de la parroquia El Cabo, la cual tiene una abundante presencia de construcciones con tierra. En segundo lugar, el estudio se centra en la reducción del peso y la simplificación del proceso constructivo, dos de los principales desafíos de la construcción en tierra, esto se puede lograr al usar técnicas conocidas y probadas en otros lugares lo cual indica que son factibles de implementar, como en el caso de alivianamiento donde la mejor opción es el incorporar PVC y cabuya que son materiales accesibles y de bajo costo, así como la técnica de la prefabricación, que permite reducir la mano de obra, el costo y el tiempo de fabricación, lo que hace que el proyecto sea más eficiente. Además, se cuenta con el respaldo del laboratorio de suelos para llevar a cabo las diferentes pruebas y evaluaciones tanto para la materia prima como para el producto final.

OBJETIVOS

General

- Proponer un prototipo de tapial prefabricado alivianado que se adapte a las características del suelo de la parroquia El Cabo con el propósito de mitigar los problemas asociados a la construcción en tierra.

Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico mediante la búsqueda de documentos científicos relacionados con la construcción con tierra y el tapial prefabricado para proporcionar una base teórica y normativa sólida que respalde el desarrollo del proyecto.
- Identificar áreas óptimas para la caracterización de las tierras de El Cabo, mediante pruebas y ensayos de laboratorio, que permitan establecer las propiedades de los materiales con los que se desarrollará el prototipo.
- Diseñar el prototipo de tapial prefabricado alivianado, mediante el uso de tubos PVC y cabuya, con el fin de desarrollar un tapial prefabricado de bajo peso.
- Construir y evaluar el prototipo de tapial prefabricado alivianado mediante pruebas visuales y ensayos de compresión para asegurar su viabilidad, calidad y durabilidad.

METODOLOGÍA

Este estudio emplea un enfoque integrado que fusiona técnicas cuantitativas y cualitativas. Esto posibilita la comprensión de los aspectos técnicos y prácticos asociados con el diseño y la construcción del tapial prefabricado alivianado. Para ello, se inicia con el análisis bibliográfico de artículos científicos, tesis, libros, normas, entre otras fuentes que se vinculen con el tema.

Para llevar a cabo esta búsqueda, se utilizan recursos como la Biblioteca Virtual de la UCACUE en donde se revisan artículos publicados tanto por estudiantes como profesionales en el campo arquitectónico, las bases a utilizarse serán: Redalyc, Scopus, Web of science y Google académico, sin limitaciones de idioma. Esta estrategia garantiza

la obtención de una amplia gama de información relevante para la elaboración del marco teórico.

Seguidamente, se realiza la zonificación de la parroquia mediante un análisis cartográfico y reconocimiento In Situ, esto permite identificar las áreas con mayor presencia de arquitectura en tierra para la extracción de materia prima. Una vez definidas las zonas se procede a la extracción de una muestra, para ello se realizan excavaciones mediante métodos manuales y mecánicos, se recolectan en sacos para su posterior transporte. Una vez tomadas las muestras se lleva a cabo las pruebas empíricas (organolépticas: olfato, gusto, tacto, visual; test de adhesión, retracción, cuchillo, cilindro, bola, sedimentación simple) y ensayos de laboratorio (granulométricos; límite líquido y plástico) para evaluar y comprender las características y propiedades del suelo y su idoneidad para la fabricación del tapial. De estas pruebas se realizan informes detallados, identificando el tipo de tierra y considerando la posible necesidad de estabilizantes.

Posteriormente se elaboran modelos de tierra apisonada en moldes de 5x5x5cm esto garantiza una precisión en las dimensiones de los bloques los cuales están compuestos por cada uno de los suelos seleccionados, además se someten a pruebas de resistencia para determinar cuál posee la mayor resistencia.

Con base en estos resultados, se procede al diseño del prototipo, utilizando herramientas de modelado 3D en donde se proyectan las dimensiones del prototipo entre 0,40 x 0,30 x 0,20 m y 1,2 x 0,60 x 0,40 m y la forma en la que se colocan los tubos de PVC para disminuir el volumen del tapial.

De acuerdo con el diseño establecido se construye el prototipo a escala 1:1, empleando encofrados metálicos para establecer una medida estandarizada en la prefabricación del tapial, y se utiliza un pisón manual para el apisonado. Este proceso

integra los conocimientos adquiridos a través de la revisión teórica y las pruebas de laboratorio. Una vez culminada su construcción, el prototipo se somete a ensayos de evaluación, incluyendo pruebas visuales para evaluar aspectos como apariencia y homogeneidad, así como pruebas de resistencia a la compresión y abrasión. Estas evaluaciones permiten determinar su viabilidad, calidad y durabilidad.

HIPÓTESIS

Es posible desarrollar un tapial prefabricado alivianado que se adapte eficazmente a las particularidades del suelo de la parroquia El Cabo.

Además, se espera que, a través de la prefabricación, se consiga una considerable disminución en el peso y en el tiempo de ejecución del tapial prefabricado alivianado.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

1.1. Breve Cronología de la Construcción en Tierra

A lo largo de la historia, la construcción con tierra se ha utilizado como técnica constructiva alrededor del mundo. Desde los primeros pueblos agrícolas que moldeaban el adobe hasta las grandes ciudades que hoy en día buscan rescatar esta técnica.

La cronología aquí presentada traza el curso de la construcción con tierra a lo largo del tiempo, desde sus raíces hasta su resurgimiento, ilustrando cómo ha evolucionado a nivel mundial, nacional y local.

1.1.1. Construcción con Tierra a Nivel Mundial

La técnica de construcción con tierra se ha replicado con precisión desde los primeros asentamientos que surgieron en el III milenio a.C., durante el periodo neolítico, aproximadamente entre los años 6000- 10000 a.C., en la región de Mesopotamia, situada entre los ríos Tigris y Éufrates. Un ejemplo destacado de esta antigua práctica es una de las primeras ciudades conocida como Catal Huyuk. La cultura mesopotámica habría perfeccionado esta técnica en la construcción de edificios emblemáticos como la biblioteca de Alejandría y otras situadas en Babilonia (Sanchis Mullor, 2009). Una prueba adicional de esta tradición son las viviendas de tierra descubiertas en el Turquestán, las cuales se estima que datan del periodo 8000-6000 a.C. (Minke, 2001).

Seguidamente el continente asiático presenta vestigios en el Himalaya que datarían del año 7000 a.C., destacándose la construcción de edificaciones emblemáticas como el Palacio de Potala que ejecuta técnicas de adobe y tapial, así mismo la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistan-700 a.C) presenta una serie de recintos amurallados construidos con adobe (Sanchis Mullor, 2009). Una de las construcciones más imponentes es la Gran

Muralla China, erigida aproximadamente hace 400 años a.C., utilizando tierra compactada y recubierta con piedra natural y ladrillo (Gatti, 2012).

En el continente africano, prácticamente todas las mezquitas se habrían erguido utilizando técnicas de construcción con tierra. Por ejemplo, en Egipto, se levantaron grandes edificaciones de tapial utilizando el fango del Nilo, y también se introdujo la técnica del adobe. Un ejemplo de ello es la bóveda del Templo Mortuorio de Ramsés II, que data del año 3000 a.C. (Gatti, 2012).

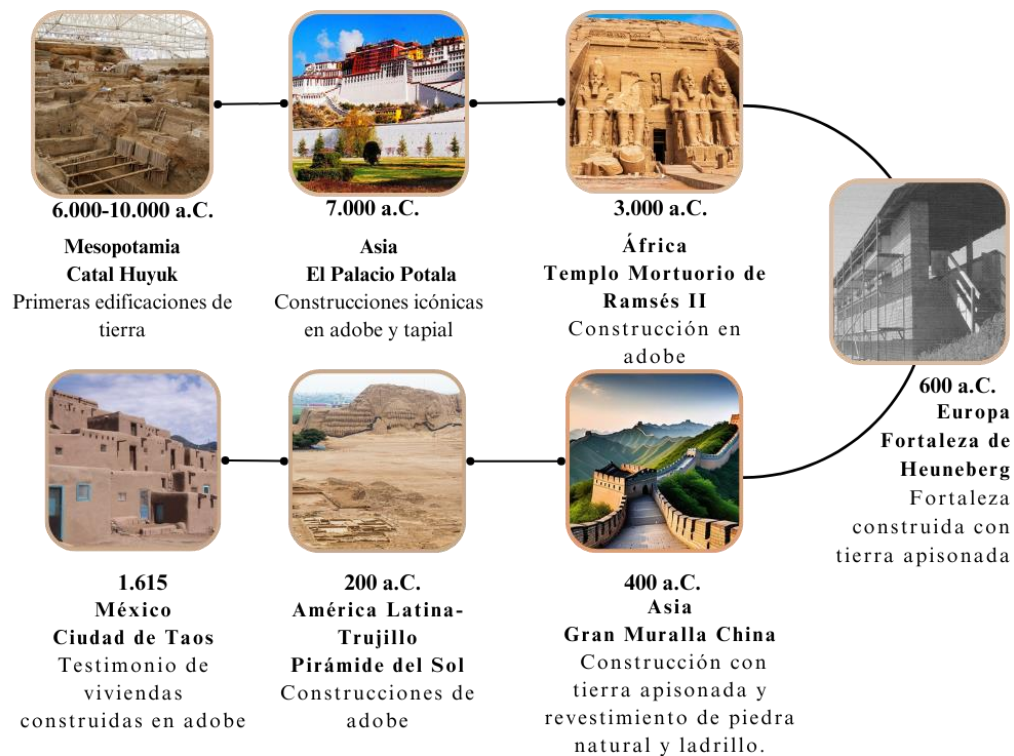
En los países europeos, se adoptó la técnica del Bahareque. Un ejemplo es la fortaleza de Heuneberg, que remonta del siglo VI a.C. Asimismo, en España, en el año 100 a.C., se erigían fortalezas utilizando tierra compactada (Minke, 2001).

Al llegar al continente americano, este ya utilizaba técnicas constructivas con tierra mucho antes de que fuese colonizada. En Latinoamérica una de las técnicas más conocidas era la pared mano o también llamada bollos de barro, esta se usaba para la construcción de murallas. Así mismo la técnica del adobe era empleada para la construcción de edificaciones notables como la Pirámide del Sol ubicada en Trujillo, Perú, que remonta en la época Mochica en los años 200 a.C. y 600 d.C. Otro ejemplo significativo es la ciudad Chan Chan que presenta las técnicas de quincha, adobe y bajorrelieves de tierra. En México la ciudad de Taos es un testimonio de viviendas construidas con adobe. La técnica del tapial se introdujo en la región a través de la colonización (Sanchis Mullor, 2009).

Tras la revolución industrial, con la llegada de nuevos materiales y luego de la Segunda Guerra Mundial, en medio de la crisis petrolera en los años 80, se da el resurgimiento del interés por la construcción con tierra, impulsado por un mayor enfoque en la consciencia ecológica (Yravedra, 2020).

Figura 2

Línea de tiempo construcción con tierra a nivel mundial



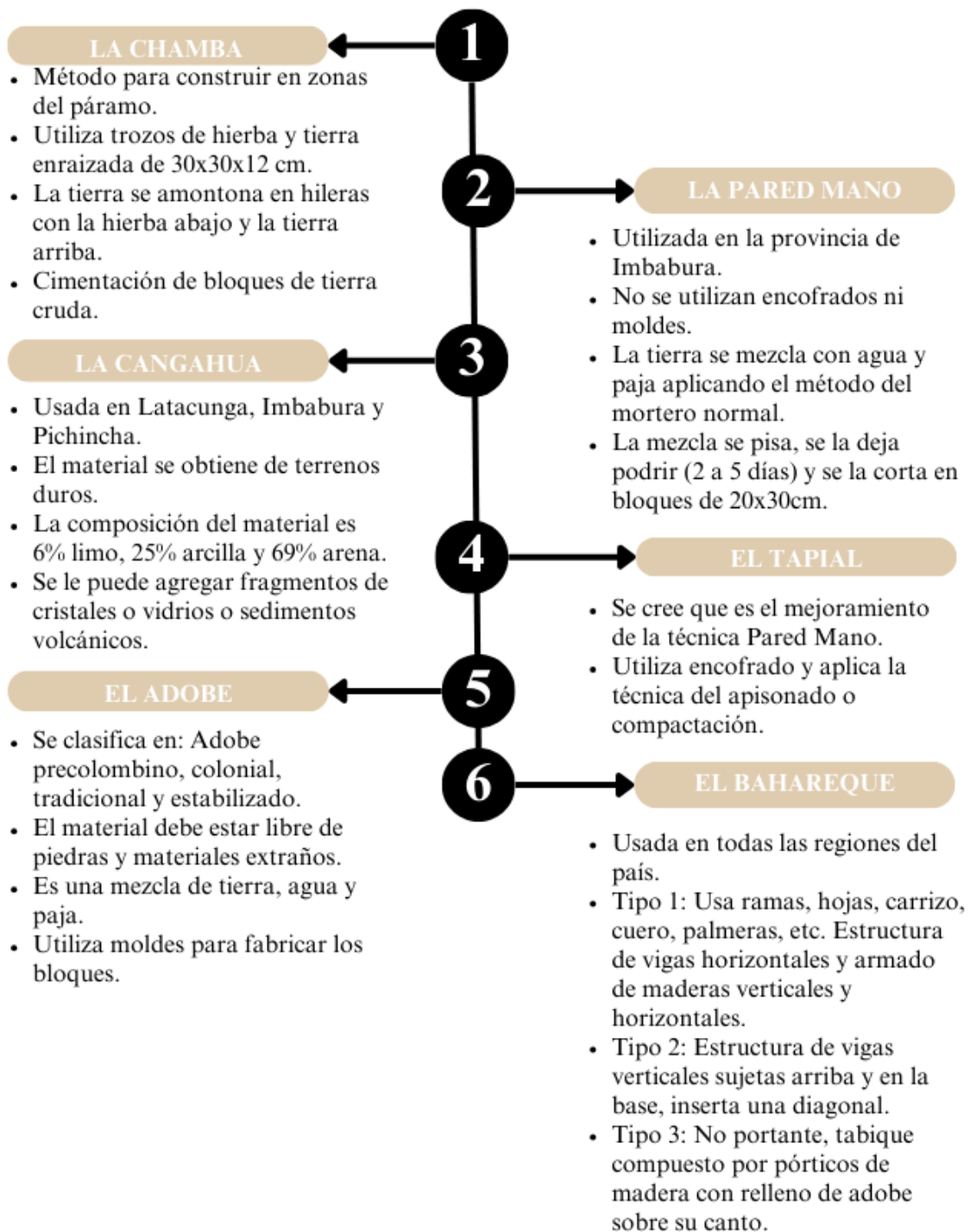
Fuente: *Varios autores* **Elaboración:** *Propia*

1.1.2. Construcción con Tierra a nivel Nacional

Según Cevallos (2006) la construcción de viviendas tradicionales en el Ecuador habría utilizado las técnicas del adobe, tapial, ladrillo, bahareque, madera y teja hasta finales de la década de los 70. Y en 1972 con la llegada de la época petrolera, se inició el proceso de modernización, cambiando la tecnología de construcción al hormigón armado. Posteriormente, tras el sismo de 1987 en Pichincha, se da la oportunidad de investigar la tecnología de construcción de 7000 viviendas en tapial y adobe, lo que desencadenó nuevamente el uso de esta técnica, especialmente en zonas rurales. En la figura 3 se describen algunas de las técnicas que se habrían utilizado en la construcción con tierra.

Figura 3

Técnicas constructivas con tierra en el Ecuador



Fuente: *Técnicas tradicionales en tierra en la construcción de vivienda en el área Andina del Ecuador*, (p.106-113), Sutter P, 1984. Ecuador DEBATE. **Elaboración:** Propia.

1.1.3. Construcción con Tierra a Nivel Local

La arquitectura en tierra en el cantón Paute representa un vínculo tangible con la historia y la identidad de la región. Paute se ha caracterizado por sus laderas de rocas compuestas por arcilla, arena, gravilla y grava, elementos idóneos para la elaboración de tapiales. Por esta razón, tanto las construcciones rurales como las urbanas han recurrido a esta técnica. No obstante, en la década de los 70, esta tradición fue reemplazada por el uso de hormigón armado y bloques de cemento. Este cambio se intensificó con eventos significativos como el desastre de la Josefina, ocurrido el 29 de marzo de 1993, que destruyó gran parte de las edificaciones de tierra (González, 2015).

A pesar de ello, aún persisten algunas edificaciones construidas con tierra, muchas de las cuales están registradas en el Sistema de Información del Patrimonio Cultural del Ecuador (SIPCE). En la Tabla 1 se destacan algunos de estos bienes patrimoniales, y en la figura 4 se los puede apreciar, destacando así la existencia de la arquitectura en tierra local.

Tabla 1

Construcciones con tierra a nivel local

Tipo de bien	Ubicación/Época	Estado de conservación	Descripción
Vivienda 1- Paute/centro	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Deteriorado	La edificación tiene muros portantes de adobe y bahareque. Estos poseen un ancho de 40 y 20 cm aproximadamente. La cubierta es de madera, recubierta por el enchacleado (cama de carrizo y barro) sobre la cual se asienta la teja tradicional.
Vivienda Comercio	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Deteriorado	La edificación utiliza sistemas constructivos tradicionales como mamposterías de tierra y estructura de madera. En su fachada se destaca

SIGUE >>

<<VIENE

			elementos tanto estructurales como ornamentales de piedra.
Vivienda 2- Paute/Centro	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Deteriorado	La edificación es de dos niveles, posee muros portantes de adobe y bahareque. La cubierta es de madera, recubierta por el enchacleado sobre la cual se asienta la teja tradicional. Los elementos de la fachada son de yeso y barro.
Escuela Julio María Matovelle	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Deteriorado	La edificación está compuesta por muros portantes de adobe de aproximadamente 40 cm, la cubierta es de madera con recubrimiento de enchacleado y teja tradicional.
Vivienda 3- Paute/centro	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Solido	La vivienda emplea un sistema tradicional de muros de adobe con una estructura y cubierta de madera, con recubrimiento de enchacleado y teja tradicional.
Casa de la administración municipal	Paute Cabecera Cantonal (1900-1999)	Solido	Fue construido por la Curia, usado como seminario, centro educativo y actualmente como edificio municipal, es una construcción de estructura de madera y muros de tapial.
Vivienda 1- Bulan	Bulan (1900-1999)	Deteriorado	Construcción de tierra de tipo aislada con retiro frontal y posterior, que consta de dos crujías.
Vivienda- Familia Castro Bermeo	Dug Dug (1900-1999)	Deteriorado	Construcción de dos plantas, con retiro frontal y adosada en dos de sus lados con una sola crujía.
Vivienda 1- Guarainag	Guarainag (1900-1999)	Solido	Construcción de adobe y madera con cubierta de teja, tiene una crujía, y está compuesta por un patio y un huerto.
Vivienda 1-San Cristóbal	San Cristóbal (1900-1999)	Deteriorado	La vivienda utiliza el sistema constructivo tradicional de bahareque con una estructura y cubierta de madera con teja.
Vivienda 1- Tomebamba	Tomebamba (1900-1999)	Deteriorado	Edificación de dos plantas, con armazón de madera y paredes de bahareque, techo de madera con enchacleado y teja tradicional.

<<VIENE

Vivienda 2-Tomebamba	Tomebamba (1900-1999)	Deteriorado	La vivienda emplea el sistema constructivo de bahareque, con estructura de madera, presenta una crujía y un patio posterior, la cubierta ha sido reemplazado por zinc.
Vivienda 1-El Cabo	El Cabo-La estancia (1900-1999)	Deteriorado	La edificación es muy antigua, anteriormente era una hacienda, está construida con muros de adobe, posee un zócalo recubierto con teja traída de la hacienda San Agustín.
Vivienda 2-El Cabo	El Cabo-Lugmapamba (1900-1999)	Deteriorado	Actualmente, el edificio sirve como guardería para los hijos de los empleados de la plantación Malima. Es una construcción con paredes de adobe y piedra, armazón de madera y techo de tejas.
Vivienda 3-El Cabo	El Cabo-Lugmapamba (1900-1999)	Ruinoso	La estructura se encuentra deteriorada, desde el desastre de la Josefina, ha permanecido deshabitadas y descuidada, sin que se haya realizado ninguna intervención de restauración. La vivienda aplica la técnica del adobe con armazón de madera y techo de tejas.

Fuente: SIPCE 2023 Elaboración: Propia

Figura 4

Construcciones con tierra a nivel local



Nota: 1. Vivienda 1-Cabecera Cantonal. 2. Vivienda/Comercio-Cabecera Cantonal. 3. Vivienda 2-Cabecera Cantonal. 4. Escuela Julio María Matovelle-Cabecera Cantonal. 5. Vivienda 3-Cabecera Cantonal. 6. Casa de la Administración Municipal-Cabecera Cantonal. 7. Vivienda 1-Bulan. 8. Vivienda Familia Bermeo Castro-Dug Dug. 9. Vivienda 1-Guarainag. 10. Vivienda 1-San Cristóbal. 11. Vivienda 1-Tomebamba. 12. Vivienda 2-Tomebamba. 13. Vivienda 1-El Cabo/La Estancia. 14. Vivienda 2-El Cabo/Lugmapamba. 15. Vivienda 3-El Cabo/Lugmapamba. **Fuente:** SIPCE 2023. **Elaboración:** Propia.

1.2. Técnicas constructivas con tierra: Tapial

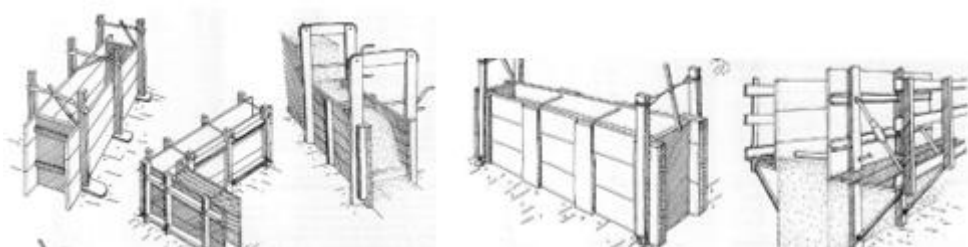
A través de la historia de la arquitectura, las técnicas constructivas en tierra han desempeñado un papel esencial. Entre estas técnicas, se destaca el tapial, una práctica ancestral que ha perdurado a través de los siglos. La técnica del tapial consiste en la elaboración de muros portantes mediante el uso de encofrados, que dan forma a la tierra. Posteriormente, esta tierra es compactada o apisonada con la ayuda de un pisón, logrando así una estructura sólida y duradera (Yépez, 2012). En esta exploración, se estudian los principios fundamentales del tapial y su aplicación a lo largo del tiempo.

1.2.1. Tapial Ancestral

La técnica del tapial común o tradicional estaba definida como tierra apisonada encofrada para formar muros monolíticos. En la figura 5 se puede observar los encofrados empleados, compuestos por dos tablones paralelos separados y unidos por un travesaño (Minke, 2001).

Figura 5

Encofrados para barro apisonado



Nota. Tomado de *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual* (p.59), por Minke G. 2001. Fin de siglo.

Así pues, el proceso de construcción de edificaciones mediante la técnica tradicional implicaba una secuencia cuidadosa de pasos. Inicialmente, se establecía una cimentación con una altura que oscilaba entre 0,30 a 1,00 ajustándose según las características del terreno. Posteriormente, se llevaba a cabo la ejecución de las primeras capas de tapial para formar la primera hilada, y a medida que se avanzaba, se iba subiendo

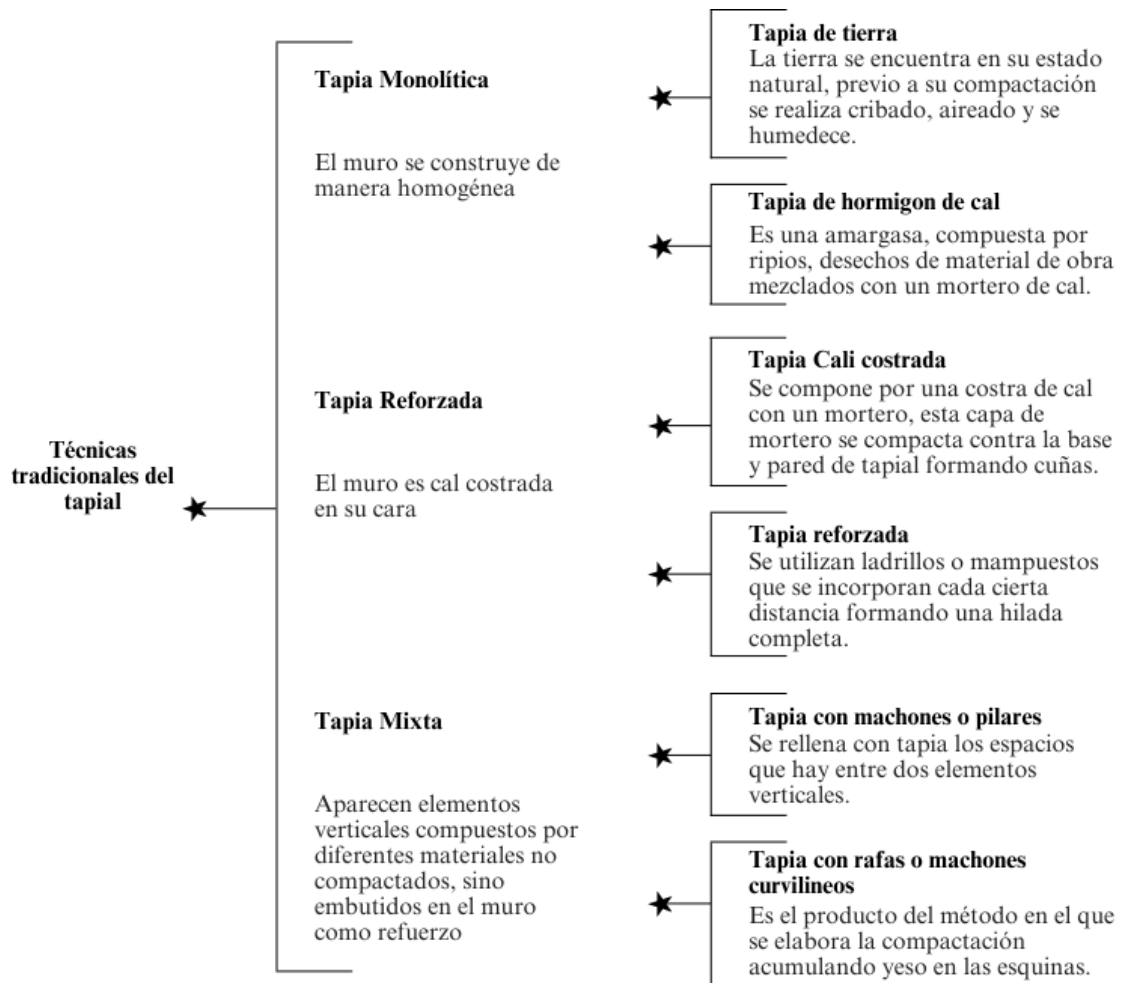
el encofrado. Durante este proceso, se determinaban los vanos para la instalación de dinteles de madera que servirían para puertas y ventanas. Finalmente, se llevaba a cabo el enrase o sobretapia para consolidar la parte superior de los muros. Es relevante señalar que la tierra para la tapia no era amasada es decir mezclada con agua, sino que se empleaba prácticamente sin seleccionar ni tratar, solamente se le apisonaba y compactaba con el pisón que podía ser de piedra, madera o hierro. (Sanchis Mullor, 2009)

Además, la construcción tradicional de tapiales se caracteriza por la formación de muros gruesos que oscila entre 40 y 60 cm. Las capas de tierra aplicadas en cada hilada pueden ser de entre 10 a 15 cm. A veces, se añaden estabilizantes como la paja o crin de caballo. Además, cada hilada debe componerse de entre 6 a 8 Capas de tierra compactada, siendo esta de no más de 10 cm de altura. Después de completar la compactación, se debe realizar el picado superficial de hasta 1 cm en la cara superior o superficie endurecida de la hilada, seguido de un humedecimiento antes de proceder con la siguiente hilada. Asimismo, se establece un límite de altura de 60 cm para cada hilada, contribuyendo a la estabilidad y resistencia del conjunto del muro (Minke, 2001). Este proceso detallado y controlado garantiza la durabilidad y solidez característica de las construcciones de tapial.

Estos parámetros y procedimientos mencionados se aplican de manera general en la técnica del tapial, no obstante, en la figura 6 se describen algunas de las técnicas tradicionales del tapial.

Figura 6

Técnicas tradicionales del tapial



Fuente: *Construcción en tapial: Hacia una arquitectura del pasado* (p 22), Domínguez C, 2023.

Elaboración: propia.

1.2.2. Técnicas Contemporáneas

En el continuo desarrollo de las técnicas de construcción, se evidencian cambios significativos en la arquitectura que emplea la tierra como material constructivo. Este componente, históricamente crucial en la construcción, ha experimentado cambios en sus propiedades, impulsando el uso de productos estabilizadores. La técnica de la compactación ha evolucionado con mecanismos avanzados, dando lugar a técnicas contemporáneas del tapial. A continuación, se detallan estas innovaciones.

Tapia Prefabricada

Este sistema se caracteriza por ser más racionalizado, ya que aprovecha el uso de máquinas de construcción convencionales para fabricar piezas de tapial, tanto en taller como “In Situ”. Además, integra sistemas de compactación que mejoran la eficiencia y rapidez del proceso productivo. Ver figura 7 (Von Mag & Rauch, 2011).

Figura 7

Tapial prefabricado



Nota. Tomado de *Paredes de tapial y su industrialización (encontrados y sistemas de compactación)* (p.3) Von Mag y Rauch, 2011.

Tapia Aislada.

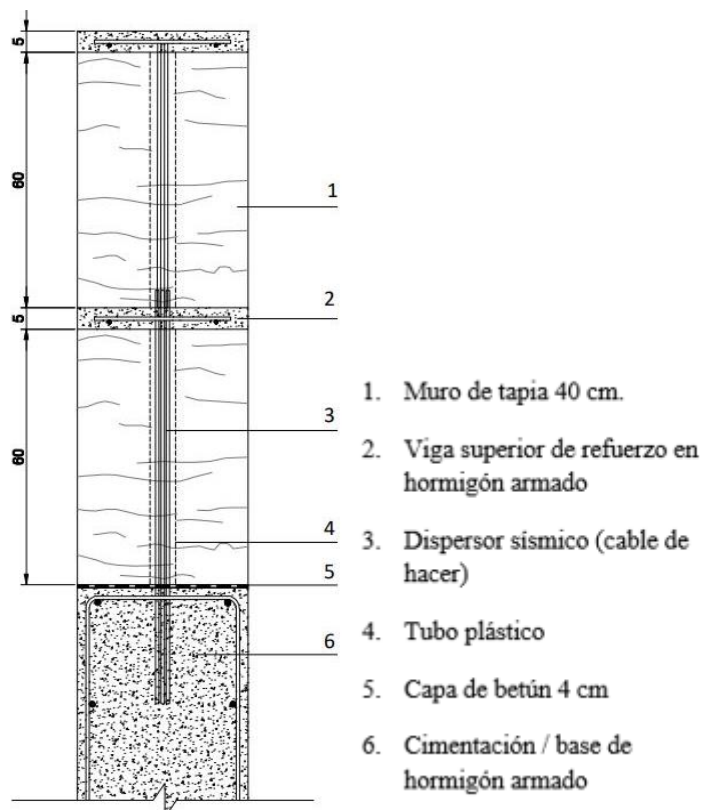
Este sistema de tapial es un sistema sándwich en el cual se forman dos muros de tapial y entre ellos se coloca aislamiento térmico, en la Figura 8 se observa que este sistema puede incluir barras de refuerzo de acero corrugado para sujetar el aislamiento, además de incorporar un 10 % de cemento portland y óxido de hierro. La compactación de la mezcla se realiza con pisones neumáticos con una cabeza de 10 cm de diámetro, y se utiliza el drop test para el control del contenido de humedad. El muro trabaja como uno solo (Gatti, 2012).

Tapia con dispersores sísmicos

El objetivo principal de esta técnica es mejorar la capacidad sismorresistente de las estructuras de tapia. Esto se logra mediante la incorporación de dispositivos mecánicos estratégicamente ubicados, ya sea en la base del muro o entre las capas de tierra (Domínguez, 2023). Por ejemplo, en la figura 10 se puede apreciar un diseño específico de un muro de tapia con dispersores sísmicos. En este diseño, se utilizan tubos plásticos para prevenir el contacto directo de los dispersores con la tierra. En este caso los dispersores son cables de acero que conectan la cimentación con vigas de hormigón armado intermedias. Estas vigas suelen construirse cuando el muro alcanza una altura cercana a los 60 cm (Gatti, 2012).

Figura 10

Detalle constructivo de muro de tapia con dispersores sísmicos.



Nota. Tomado de *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra* (p.52), Gatti F, 2012.

1.3. Normas de construcción con tierra

La construcción en tierra pese a su gran imponencia en la industria de la construcción no habría sido objeto de regulaciones normativas hasta la última década; en donde algunos países desarrollaron normas específicas para guiar y estandarizar el uso de esta técnica.

Un estudio realizado por Cid, Mazarrón y Cañas en 2011 se centró en examinar normativas y reglamentos internacionales relacionado con la construcción con tierra. Según su investigación, identificaron un total de 55 documentos que abordan el uso de muros de tierra como estructuras resistentes. Estos documentos ofrecían directrices detalladas sobre la estabilización del material, selección adecuada de suelos, los ensayos requeridos y los estándares que debía cumplir los productos resultantes de diversas técnicas constructivas en tierra.

Así pues, en la tabla 2 se detallan los 55 documentos identificados por los autores Cid, Mazarrón y Cañas. Esta tabla proporciona información sobre el país de origen de la normativa, el nombre de referencia de la norma, la fecha en la que fue establecida y el tipo de técnica al que está dirigida. Además, se realiza una breve descripción de estas normas y se señala las pautas que proporcionan estos documentos.

Tabla 2*Normas internacionales de construcción con tierra*

N°	Norma	País/Fecha	Técnica	Descripción	Pautas
1	NBR 8491 ^a	Brasil-1986	BTC	Rige la técnica de bloque comprimido macizo en donde se establecen las condiciones para la recepción de los bloques.	Selección de suelos y requisitos de los productos
2	NBR 8492 ^b	Brasil-1986	BTC	Se especifican los procedimientos para llevar a cabo las pruebas de resistencia a la absorción de agua y a la compresión.	Ensayos
3	NBR 10832 ^c	Brasil-1989	BTC	Se definen los procesos a seguir para la producción de los bloques de terrocemento a través de prensas manuales e hidráulicas.	Selección de suelos y fabricación
4	NBR 10833 ^d	Brasil-1989	BTC	Contempla el proceso de fabricación mediante el uso de prensas manuales e hidráulicas	Selección de suelos y fabricación
5	NBR 10834 ^e	Brasil-1994	BTC	Define los requisitos para la recepción de bloques comprimidos perforados que no tienen función estructural.	Selección de suelos y requisitos del producto
6	NBR 10835 ^f	Brasil-1994	BTC	Estipula la configuración y medida de los bloques.	Requisitos del producto
7	NBR 10836 ^g	Brasil-1994	BTC	Fija los procedimientos para llevar a cabo las pruebas de resistencia a la absorción de agua y a la compresión.	Ensayos
8	NBR 12023 ^h	Brasil-1992	BTC	Especifica los procedimientos de los ensayos a aplicar en los bloques.	Ensayos
9	NBR 12024 ⁱ	Brasil-1992	BTC	Determina los procedimientos de los ensayos que se ejecutan en los bloques de suelo-cemento.	Ensayos

SIGUE >>

<<VIENE

10	NBR 12025 ^j	Brasil-1990	BTC	Define los procesos para la ejecución de los ensayos.	Ensayos
11	NBR 13554 ^k	Brasil-1996	BTC	Establece los métodos de ensayos que se aplican a los bloques.	Ensayos
12	NBR 13555 ^l	Brasil-1996	BTC	Describe los procedimientos de los ensayos a realizarse.	Ensayos
13	NBR 13553 ^m	Brasil-1996	Tapia con cemento	Establece los requisitos que los materiales deben cumplir para la construcción de muros monolíticos sin función estructural.	Selección de suelos y requisitos del producto.
14	NTC 5324 ⁿ	Colombia-2004	BTC	Define los parámetros de caracterización y métodos de ensayo en bloques macizos.	Selección de suelos requisitos del producto y ensayos.
15	NMAC, 14.7. 4. ^ñ	Estados Unidos-2004	Adobe, BTC y Tapial	Se dirige a la construcción con tierra que aplica las técnicas del adobe, BTC y tapial.	Selección de suelos, requisitos, ensayos y construcción.
16	ASTM E2392 M-10 ^o	Estados Unidos	Adobe y Tapial	Esta es una guía para la construcción con tierra.	Selección de suelos, requisitos, fabricación y construcción.
17	UNE 41410 ^p	España-2008	BTC	Contempla definiciones, especificaciones y métodos de ensayos.	Selección de suelos, requisitos del producto y ensayos
18	XP P13-091 ^q	Francia-2001	BTC	Describe la terminología, dimensiones y métodos de ensayos.	Selección de suelos, requisitos del producto y ensayos
19	IS 2110 ^r	India-1980	Tapial con cemento	Exponen los estándares para muros de tapial in-situ que no superan los 3,2 m de altura y que mantienen un grosor superior a 30 cm en exteriores y 20 cm en interiores.	Selección de suelo, requisitos del producto y construcción.

SIGUE>>

<<VIENE

20	IS 1725 ^s	India-1982	BTC	Determina los requisitos y métodos de ensayos.	Selección de suelo, requisitos del producto y ensayos.
21	IS 13827 ^t	India-1993	Adobe y Tapial	Estipula directrices para mejorar la resistencia sísmica de edificios de tierra.	Requisitos del producto y construcción.
22	Ley N° 378 ^u	Italia-2004	Adobe, BTC y Tapial	Esta ley posee disposiciones para la protección y mejora de arquitectura rural	Medidas de conservación, procedimientos y provisiones financieras.
23	L.R. 2/06 2 ^v	Italia-2006	Adobe, BTC y Tapial	Se dirige a la valorización y conservación de las edificaciones en tierra cruda.	Disposiciones de intervenciones de recuperación y provisiones financieras.
24	KS 02-1070 ^w	Kenya-1999	BTC	Define los requisitos para la construcción con bloques de terrocemento.	Selección de suelos, requisitos del producto y ensayos.
25	NZS 4297 ^x	Nueva Zelanda-1998	Adobe, BTC y Tapial	Proporciona criterios de diseño estructural y de durabilidad de las edificaciones de tierra.	Construcción y diseño
26	NZS 4298 ^y	Nueva Zelanda-1998	Adobe, BTC y Tapial	Describe los parámetros de caracterización, métodos de ensayo y establece algunas especificaciones sobre el uso de tierra cruda.	Selección de suelos, requisitos del producto, ensayos, fabricación y construcción.
27	NZS 4299 ^z	Nueva Zelanda-1999	Adobe, BTC y Tapial	Determina los requisitos de diseño y construcción de elementos que no necesitan de un diseño en específico.	Construcción y diseño.

SIGUE>>

<<VIENE

28	NTE E 0.80 ^{aa}	Perú-2000	Adobe	Contiene los requisitos aplicables al diseño y construcción del adobe simple y estabilizado.	Selección de suelos, requisitos del producto, ensayos, diseño, fabricación y construcción.
29	NTP 331.201 ^{ab}	Perú-1979	Adobe	Expresa las definiciones, condiciones generales y requisitos para el adobe estabilizado con asfalto.	Requisitos del producto, ensayos y fabricación.
30	NTP 331.202 ^{ac}	Perú-1979	Adobe	Señala los procedimientos de ensayo para el adobe estabilizado con asfalto	Selección de suelos
31	NTP 331.203 ^{ad}	Perú-1979	Adobe	Especifica los parámetros de muestreo y recepción	Requisitos del producto
32	ARS 670 ^{ae}	Regional África-1996	BTC	Contiene la terminología del BTC	Selección de suelos.
33	ARS 671 ^{af}	Regional África-1996	BTC	Contiene la clasificación del BTC	Selección de suelos.
34	ARS 672 ^{ag}	Regional África-1996	BTC	Clasifica los tipos de morteros de tierra	Selección de suelos.
35	ARS 673 ^{ah}	Regional África-1996	BTC	Define las formas de albañilería	Selección de suelos.
36	ARS 674 ^{ai}	Regional África-1996	BTC	Detalla los requisitos de BTC ordinarios	Selección de suelos y requisitos del producto
37	ARS 675 ^{aj}	Regional África-1996	BTC	Describe los requisitos que son aplicables en BTC vistos	Selección de suelos y requisitos del producto
38	ARS 676 ^{ak}	Regional África-1996	BTC	Establece los requisitos para los morteros ordinarios	Requisitos del producto

SIGUE >>

<<VIENE

39	ARS 677 ^{al}	Regional África-1996	BTC	Establece los requisitos de morteros vistos.	Requisitos del producto y ensayos
40	ARS 678 ^{am}	Regional África-1996	BTC	Establece los requisitos para albañilería revestida	Construcción y diseño
41	ARS 679 ^{an}	Regional África-1996	BTC	Estable los requisitos para albañilería vista	Construcción y diseño
42	ARS 680 ^{añ}	Regional África-1996	BTC	Define el estado del arte de la fabricación del BTC.	Selección de suelos y fabricación
43	ARS 681 ^{ao}	Regional África-1996	BTC	Define el estado del arte para morteros de tierra	Selección de suelos y fabricación
44	ARS 682 ^{ap}	Regional África-1996	BTC	Define el estado del arte para construcción.	Construcción
45	ARS 683 ^{aq}	Regional África-1996	BTC	Establece las pruebas aplicables a la construcción con tierra.	Selección de suelos y requisitos del producto.
46	SLS 1382-1 ^{ar}	Sri Lanka- 2009	BTC	Define requerimientos de construcción.	Selección de suelos y requisitos del producto.
47	SLS 1382-2 ^{as}	Sri Lanka- 2009	BTC	Indica los métodos de ensayo para el BTC	Ensayos
48	SLS 1382-3 ^{at}	Sri Lanka- 2009	BTC	Esta es una guía sobre producción, diseño y construcción de BTC	Fabricación, construcción y diseño
49	NT 21.33 ^{au}	Túnez-1996	BTC	Describe las especificaciones para el BTC ordinario, las características geométricas y fisicoquímicas que debe cumplir.	Requisitos del producto y ensayos

SIGUE>>

<<VIENE

50	NT 21.35 ^{av}	Túnez-1996	BTC	Indica la definición y clasificación del BTC	Requisitos del producto
51	TS 537 ^{aw}	Turquía-1985	Adobe	Norma de producto que analiza las dimensiones, producción y ensayos a realizar	Selección de suelos, requisitos del producto, ensayos, fabricación y diseño.
52	TS 2514 ^{ax}	Turquía-1985	Adobe	Norma de producto que analiza las dimensiones, producción y ensayos a realizar	Selección de suelos, requisitos del producto, ensayos, diseño y fabricación.
53	TS 2515 ^{ay}	Turquía-1985	Adobe	Estable las formas de conectar el suelo- pared o huecos.	Construcción
54	SAZS 724 ^{az}	Zimbabue-2001	Tapial	Contiene las especificaciones de diseño, construcción y ensayos.	Selección de suelos, requisitos del producto, ensayos, construcción y diseño.
55	NIS 369 ^{ba}	Nigeria-1997	BTC	Define la estandarización para ladrillos de tierra estabilizada	Selección de suelos, requisitos del producto y ensayos.

^aNBR 8491 (1986). ^bNBR 8492 (1986). ^cNBR 10832 (1989). ^dNBR 10833 (1989). ^eNBR 10834 (1994). ^fNBR 10835 (1994). ^gNBR 10836 (1994). ^hNBR 12023 (1992). ⁱNBR 12024 (1992). ^jNBR 12025 (1990). ^kNBR 13554 (1996). ^lNBR 13555 (1996). ^mNBR 13553 (1996). ⁿNTC 5324 (2004). ^ñNMAC,14.7.4. (2004). ^oASTM E2392M-10 (2010). ^pUNE 41410 (2008). ^qXP P13-091 (2001). ^rIS 2110 (1980). ^sIS 1725 (1982). ^tIS 13827 (1993). ^uLey N° 378 (2004). ^vL. R 2/06 2 (2006). ^wKS 02-1070 (1999). ^xNZS 4297 (1998). ^yNZS 4298 (1998). ^zNZS 4299 (1999). ^{aa}NTE E 0.80 (2000). ^{ab}NTP 331.201 (1979). ^{ac}NTP 331.202 (1979). ^{ad}NTP 331.203 (1979). ^{ae}ARS 670 (1996). ^{af}ARS 671 (1996). ^{ag}ARS 672 (1996). ^{ah}ARS 673 (1996). ^{ai}ARS 674 (1996). ^{aj}ARS 675 (1996). ^{ak}ARS 676 (1996). ^{al}ARS 677 (1996). ^{am}ARS 678 (1996). ^{an}ARS 679 (1996). ^{añ}ARS 680 (1996). ^{ao}ARS 681 (1996). ^{ap}ARS 682 (1996). ^{aq}ARS 683 (1996). ^{ar}SLS 1382-1 (2009). ^{as}SLS 1382-2 (2009). ^{at}SLS 1382-3 (2009). ^{au}NT 21.33 (1996). ^{av}NT 21.35 (1996). ^{aw}TS 537 (1985). ^{ax}TS 2514 (1985). ^{ay}TS2515 (1985). ^{az}SAZS 724 (2001). ^{ba}NIS 369 (1997).

De acuerdo con la información obtenida se puede decir que la norma pertinente para esta investigación es la SAZS 724 ya que esta es exclusiva para el tapial por lo que a continuación se hace un breve análisis de esta norma.

Norma SAZS 724- Código de prácticas de estructuras de tierra apisonada

Este código proporciona las pautas sobre la metodología del diseño, construcción y prueba de estructuras de tierra apisonada. Por consiguiente, se enumeran algunas de estas pautas a considerar en el diseño de este proyecto.

- De acuerdo con la norma los suelos de tierra apisonada deberán tener entre un 50-70% de grava fina y arena, entre un 15-30% de limo y entre 5-15% de arcilla. Así mismo las mezclas deben ensayarse mediante el método del rollo y el desprendimiento debe estar entre 8 y 12 cm.
- Los materiales que se pueden utilizar como estabilizantes son: cemento Portland ordinario, cal o cal hidratada, cal combinada con puzolanas como cenizas de combustible pulverizadas o escoria granulada.
- La resistencia media a la compresión de los muros no debe ser inferior a 1,5 N/mm² o 2,0 N/mm² para muros de altura entre 3,0 y 6,0 m con una edad mínima de 7 días.
- En las pruebas visuales se observará que el muro no tenga bordes rotos ni forma de panal, las grietas por construcción no deben tener más de 3 cm de ancho y 75 cm de largo.
- El ancho de la pared debe ser mínimo de 30 cm.

También, se lleva a cabo un breve análisis de la norma NZS 4298, ya que esta establece especificaciones adicionales sobre el tapial.

NZS 4298 (1998): Materiales y mano de obra para edificaciones de tierra

La norma NZS 4298 establece los parámetros que deben cumplir tanto los materiales como la mano de obra para el uso de la tierra sin cocer para adobe, ladrillo de tierra prensada o apisonada. A continuación, se enumeran algunas de las especificaciones de la norma.

- El curado se realizará mediante el secado al aire libre durante 28 días, deberá estar protegido de la luz solar directa durante los primeros 4 días de curado.
- Los agujeros a través de las paredes no tendrán un diámetro mayor que 20 cm.
- El espesor mínimo del muro de tierra apisonada deberá ser de 28 cm a 35 cm.
- Se podrán utilizar diferentes métodos de compactación en un mismo panel de tierra apisonada. La compactación normalmente se hará en capas de 10 a 15cm.
- Las grietas no deberán ser de más de 3 mm de ancho. Cuando las grietas sean de menor naturaleza se podrán rellenar o parchar para cumplir con los requisitos estéticos del proyecto.
- La paja que se utilice no deberá cortarse en longitudes que excedan la mitad del espesor del muro terminado.
- La resistencia a la compresión de muros de tierra de grado estándar será de 0,5 Mpa.

Además, en la tabla 3 se presentan algunas de las normativas antes mencionadas que están dirigidas al tapial y diseñadas para abordar la resistencia a la compresión, que es fundamental para determinar la validez del prototipo.

Tabla 3*Resistencia a la compresión del tapial según normas internacionales*

Normas	Resistencia a la compresión
NZS 4298^a	0,50 N/mm ²
NMAC, 14.7.4^b	2,06 N/mm ²
NTE E. 080^c	1 N/mm ²
SAZS 724^d	1,5 N/mm ²

^aNZS 4298 (1998). ^bNMAC, 14.7.4 (2004). ^cNTE E. 080 (2000). ^dSAZS 724 (2001).

1.4. Tapial prefabricado

Según Fabio Gatti (2012), la prefabricación en tierra surge como una solución para agilizar los tiempos de producción y construcción con tierra, a pesar de que los costos puedan aumentar debido a los requisitos de transporte y elevación de los productos prefabricados. Esta innovación se ha aplicado en diferentes técnicas constructivas con tierra, dando origen a los prefabricados de BTC, tapial y superadobe. Además, según Rauch (2014), este método constructivo permite una producción independiente de las condiciones meteorológicas, lo cual contribuye a acortar el tiempo de trabajo en la obra. En este sentido, este proyecto se enfoca en la prefabricación del tapial, abordando su definición, sus aplicaciones, el proceso constructivo. Además, se realiza un análisis de las obras más representativas que han incorporado esta técnica constructiva.

1.4.1. Concepto

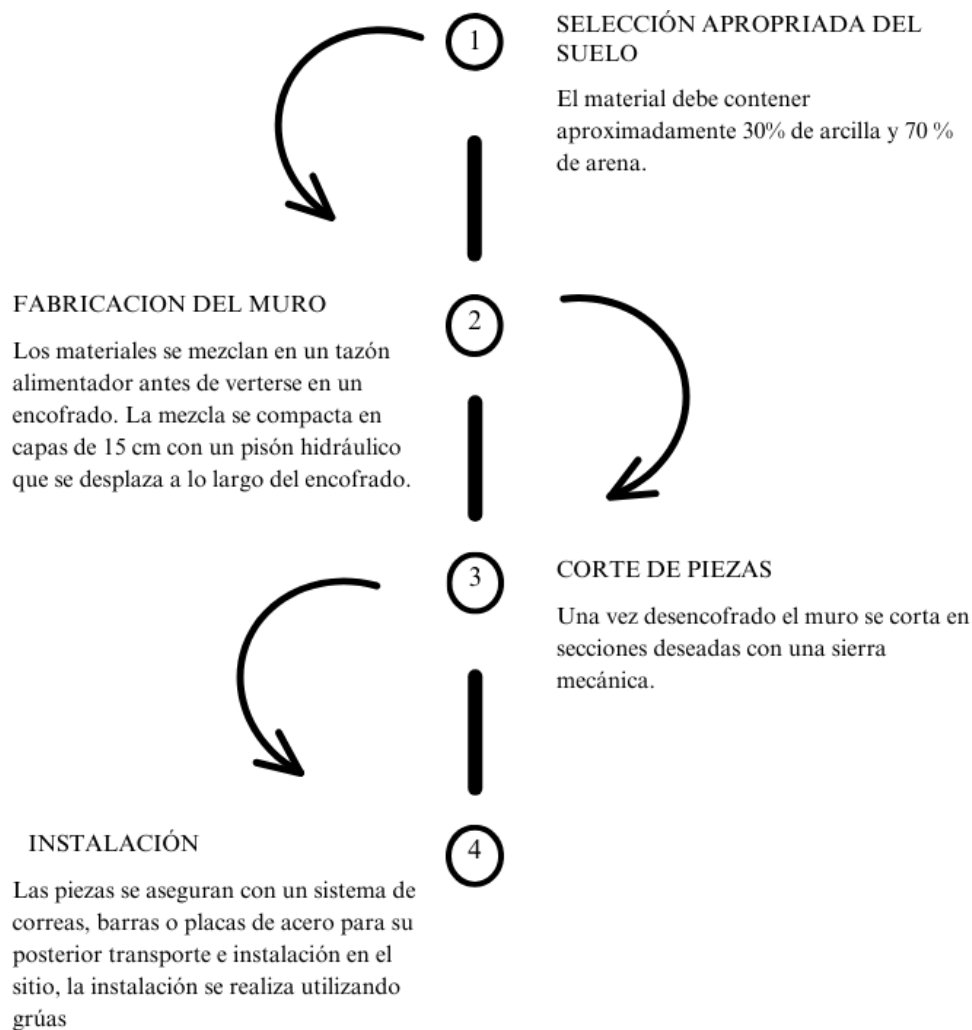
El tapial prefabricado se encuentra ligado a la producción mecanizada “In Situ”, lo que posibilita la reducción y optimización de los tiempos de ejecución. Este enfoque no solamente permite controlar la calidad del muro, sino que también facilita la dosificación precisa de agua, tierra y acabados. Una característica importante de esta técnica es su flexibilidad en el dimensionado de las piezas puesto que abre la posibilidad de incorporar las instalaciones dentro de los muros prefabricados (Marín, 2021).

1.4.2. Proceso constructivo

Sierra (2023) dice que los requisitos y el entorno de cada proyecto arquitectónico son únicos, sin embargo, el proceso de prefabricación es similar. En consecuencia, en la figura 11 se describen las fases fundamentales del proceso de fabricación del tapial prefabricado.

Figura 11

Proceso constructivo del tapial prefabricado



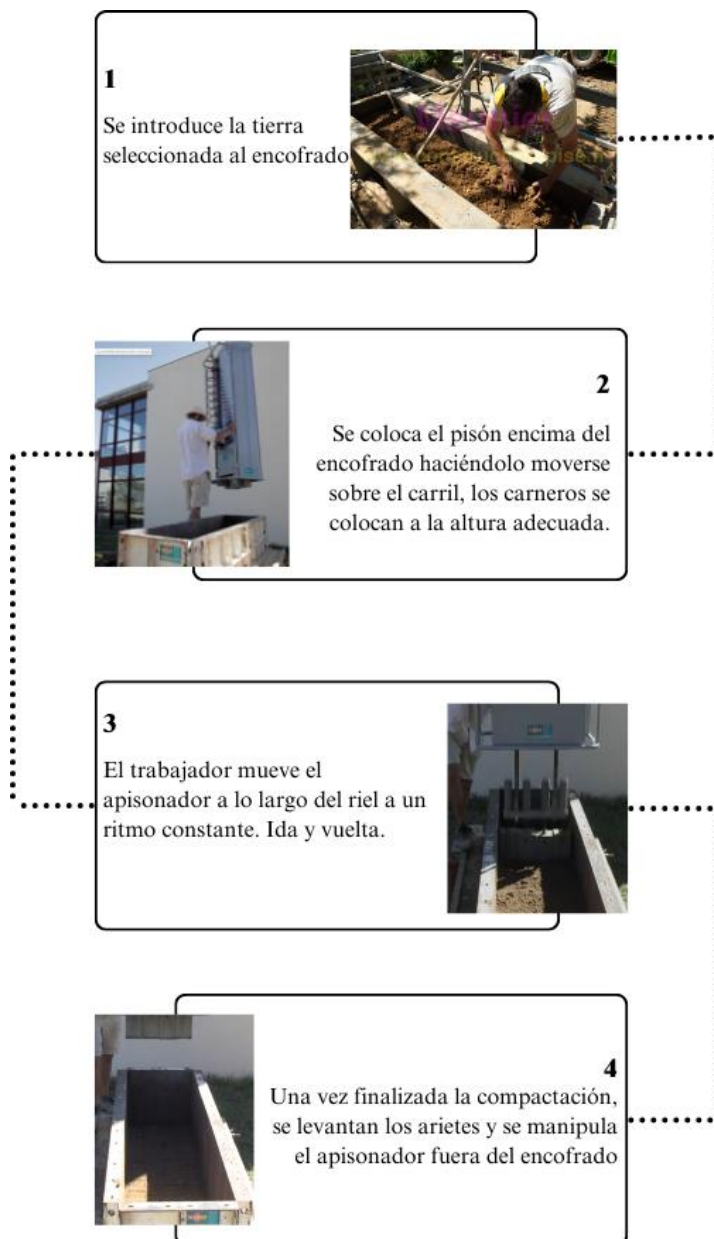
Fuente *Uso de biopolímeros en la prefabricación de muros de tapia*, Sierra M, 2023, ACE. **Elaboración:** propia.

Efectivamente, en concordancia con la idea de que el proceso de prefabricación comparte similitudes, diversos autores han contribuido con enfoques innovadores. Entre ellos se encuentra Nicola Meunier quien, en el 2014, ha destacado su aporte al desarrollar un compactador aéreo y una estación de prefabricados que facilitaron la producción del tapial en

el sitio de construcción e incluso realizó una comparación entre el tiempo que se tarda el compactador aéreo y un compactador normal en una longitud de 2m; el compactador aéreo tardo 1 minuto con 15 segundos mientras que el compactador normal tardo 2 minutos con 30 segundos en compactar una cama de tierra. La figura 12 proporciona una explicación detallada del proceso de prefabricación con el compactador aéreo.

Figura 12

Proceso de prefabricación del tapial con compactador aéreo



Fuente: Le pise, Meunier N, 2014 Elaboración: Propia.


1.4.3. Principales referentes y sus obras

La innovación técnica del tapial prefabricado ha suscitado el interés de destacados profesionales en el ámbito de la construcción. Dos figuras importantes son Martin Rauch y Nicolas Meunier. Ambos han integrado el tapial prefabricado en muchos de sus proyectos arquitectónicos y han aportado con algunas pautas para el diseño, fabricación y construcción del tapial prefabricado. Seguidamente, se desarrolla un análisis de estas personalidades y de sus obras más relevantes, que han contribuido a consolidar el tapial prefabricado como una alternativa innovadora.

Martin Rauch. Un experto en tapial prefabricado fundó Lehm Ton Erde en Austria en 1983. A lo largo de su carrera, ha perfeccionado las mezclas de materiales naturales, técnicas de compactación y encofrado. Sus tapiales pueden variar en tamaño, con un máximo de 3,5x0,8x1,2 metros. Para su fabricación, se emplea un encofrado de longitud variable, que oscila entre los 0,50 a 0,80 m, con diferentes grosores. Un robot se encarga de verter y compactar la tierra. Posteriormente, las piezas se cortan de acuerdo con las necesidades del proyecto y la capacidad de carga de la grúa para el transporte e instalación. En ocasiones, se utilizan estabilizantes como cemento o áridos coloreados. La resistencia mínima de los muros alcanza los 2,4 N/ mm² (Rauch, 2014). En la tabla 4 se detallan sus principales obras.

Tabla 4

Obras en Tapial Prefabricado-Martin Rauch

PROYECTO/AÑO	UBICACIÓN	ARQUITECTO	DESCRIPCIÓN
Casa L -1997 	Sublingen, Suiza	Arq. Theo Luthi	En esta obra se coloca el primer muro prefabricado realizado por Rauch, este era un muro curvo de 4 toneladas que se fabricó en un taller a 300 km del lugar. Este muro es autoportante.

SIGUE >>

<<VIENE

Alnatura campus-2016



Darmstadt,
Germania

Haas Cook
Zemrich Studio

Se trata de un complejo de oficinas donde los componentes prefabricados incorporan una capa de aislamiento. Estas piezas tienen un ancho de 38 cm y se integran en ellas un sistema de tuberías por las cuales fluye un líquido refrigerante.

Imprenta Gugler Pielach-1998



Austria

Arq. Herbert
Ablinger

Se emplearon sucesiones de muros de tapial. La edificación se construyó sobre pilotes de madera y se complementó con 160 piezas prefabricadas de tierra compactada, con dimensiones de 1,7x1,2x0,40m.

Ricola Herb Centre-2012



Laufen, Suiza

Herzog & de
Meuron

Este proyecto se edificó con tierra extraída de la zona en un radio de 10 km. Se fabricaron 666 piezas de 4 toneladas cada una, cada elemento se aseguró horizontalmente a los pilares mediante cables metálicos incrustados en la junta horizontal. Se diseñó maquinaria como se ilustra en la figura 13.

King Abdulaziz Center for World Culture-2010



Dhahran,
Arabia Saudí

Snohetta

Este centro cultural resulto tener la superficie más extensa diseñada por Rauch, con 12 m de altura y 120 m de largo. La construcción se llevó a cabo exclusivamente con elementos prefabricados. En total, se fabricaron 1500 piezas en un lapso de 4 meses.

Fuente: Varios Autores **Elaboración:** Propia

Figura 13

Maquinaria para fabricación automatizada de sillares de tapia



Nota. Adaptado de. Martin Rauch: *¿Innovacion o marketing?*, Yravedra A, 2020.

Nicolas Meunier. En 1986 inventó la técnica de la tierra apisonada prefabricada y en 1988 fundó la empresa Le pise en Francia. El proceso de fabricación implica el diseño de muros de prueba sometidos a análisis visuales (apariencia, homogeneidad, densidad aparente) y pruebas de resistencia a la abrasión, al agua, rotura de un sujetador y resistencia a la compresión. Los tapiales tienen un tamaño máximo de 2,20 x 1,00 x 0,50 metros y se controla el contenido de agua y la compactación durante la construcción, levantando los bloques con grúas y colocándolos en la pared sobre mortero de cal (Meunier, 2016). A continuación, en la tabla 5 se describen algunas de las obras más importantes que ha desarrollado Meunier.

Tabla 5

Obras de tapial prefabricado-Nicolas Meunier

PROYECTO	AÑO	UBICACIÓN	JEFE DE PROYECTO	DESCRIPCIÓN
<p>Serbales</p> 	1988	Loira, Francia	Regis Dumas	Esta era una vivienda unifamiliar de 142 m ² , esta se construyó con bloques compactados y ensamblados in situ, estos tenían medidas de 1 x 0,5 m.
<p>Montbrison</p> 	1995	Loira, Francia	Arq. Antoine Morand	La obra tenía planeado alcanzar una altura de 9,40 m extrayendo la tierra a 19 km del lugar. Las piezas tenían dimensiones de 2m de largo, 1m de alto y con espesor de 50 cm.
<p>Organgerie</p> 	2019	Lyon, Francia	Arq. Clement Vergely	Los elementos para esta obra se fabricaron en la obra al pie del edificio en moldes, en total se fabricaron 286 piezas con un total de 235 toneladas de tierra.

Fuente: Varios Autores **Elaboración:** Propia

1.5. Tapial Alivianado

Durante mucho tiempo la construcción con tierra ha experimentado un desafío constante que es el peso de las estructuras edificadas con este material. Con el propósito de abordar este problema, diversas investigaciones y experimentos han explorado la integración de la tierra con materiales aligerantes. En este contexto, Minke, en su libro sobre la construcción con tierra, explora diversas técnicas para el uso de barro aligerado mediante compactación. De igual manera, Andres Cárdenas y Julio Sarmiento, en el marco de su tesis “Tapial Alivianado”, se centraron en desarrollar soluciones para alivianar el peso del tapial. Su enfoque incluyó la creación de varios prototipos que incorporaban distintos materiales aligerantes.

1.5.1. Concepto

Según Cárdenas y Sarmiento (2017) el tapial alivianado es una técnica que incorpora materiales de menor densidad en la mezcla de tierra utilizada en el tapial, esto permite reducir el peso de los muros sin comprometer las propiedades y la resistencia del tapial. Esta técnica no solo tiene implicaciones en términos de eficiencia estructural, sino que también puede mejorar otras características, como el aislamiento térmico y acústico.

1.5.2. Proceso constructivo

Dado que la técnica del tapial alivianado está en fase activa de investigación y experimentación, es importante señalar que aún no existe un proceso estandarizado. No obstante, en la figura 14 se describe el proceso empleado por Cárdenas y Sarmiento en la fabricación de los prototipos de tapial alivianado.

Figura 14

Proceso de fabricación de tapial alivianado



Fuente: Tapial Alivianado, Cárdenas y Sarmiento, 2017. **Elaboración:** Propia

Gernot Minke también presenta un proceso de fabricación del tapial con barro alivianado con paja, el cual persigue un enfoque más tradicional. La Figura 15 ilustra este proceso descrito a continuación: en primer lugar, se preparaba la mezcla de barro alivianado con paja. Esto se lograba al verter la tierra sobre la paja o al sumergir la paja en la tierra. Para lograr un buen aislamiento térmico, se recomendaba que por cada 10 partes de paja picada se debía agregar 2 partes de tierra arcillosa y una parte de agua. Esta mezcla se lanzaba en el encofrado a mano o con una horca, en capas de 10 a 20 cm y se compactaba con pisones manuales livianos. Además, se recomendaba que los tallos de la paja queden completamente cubiertos por el barro, permitiendo así que la mezcla alcance una densidad mínima de 600 Kg/m³, esto con el fin de evitar la descomposición de la paja y el fracaso del muro.

Figura 15

Proceso constructivo de tapial de barro alivianado con paja



Nota: 1. La paja y otros materiales se trituran en trozos de 10 a 15 cm. 2. El barro líquido se vierte sobre cada capa de fibra. 3. Mezclado con azada de estiércol. 4. Colocación del barro ligero en el encofrado deslizante. 5. Compactación de la masa. 6. Las inserciones de juntas de expansión sirven para reforzar la pared. Tomado de *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual* (p. 104), por Minke G., 2001, Fin de siglo.

1.5.3. Materiales Aligerantes

Para lograr disminuir el peso del tapial, se pueden aplicar diversos materiales aligerantes, tales como: el poliestireno (EPS), el policloruro de vinilo (PVC), la cabuya y el aditivo Sika poro plus. Cada uno de estos materiales aporta nuevas propiedades al producto final al sustituir parte del volumen original. En la tabla 6, se describen estos materiales, dando a conocer los resultados de las pruebas realizadas por Cárdenas y Sarmiento, en donde se puede observar cuál de los materiales ha resultado ser el más viable en términos de resistencia en comparación con un tapial normal que ha logrado una resistencia a compresión de 1,84 Mpa y de flexión de 0,05 Mpa.

Tabla 6

Materiales aligerantes para tapial alivianado

Material Aligerante	Característica	Modo de uso	Resultados	Variación del peso
Poliestireno Expandido (EPS)	Es un polímero termoplástico que se caracteriza por su ligereza	Esferas ø 40 mm	Resistencia a la compresión: 1,47 Mpa	96 %
			Resistencia a la flexión: 0,03 Mpa	
		Esferas ø 70 mm	Resistencia a la compresión: 0,93 Mpa	96%
			Resistencia a la flexión: 0,04 Mpa	
		Esferas ø 40 mm	Resistencia a la compresión: 1,18 Mpa	92%
			Resistencia a la flexión: 0,02 Mpa	
Perlas ø 2-4 mm	Resistencia a la compresión: 1,18 Mpa	94%		
	Resistencia a la flexión: 0,04 Mpa			

SIGUE >>

<<VIENE

Policloruro de Vinilo	Es un polímero termoplástico que se caracteriza por su resistencia a la intemperie y a la corrosión	Polígono	Resistencia a la compresión: 0,72 Mpa	91%
			Resistencia a la flexión: 0,05 Mpa	
		Tubos en forma horizontal	Resistencia a la compresión: 0,97 Mpa	89%
			Resistencia a la flexión: 0,01 Mpa	
Tubos en forma vertical	Resistencia a la compresión: 1,05 Mpa	90%		
	Resistencia a la flexión 0,01 Mpa			
Cabuya	Es una fibra natural que se incorpora fácilmente con la tierra, mejorando la resistencia y durabilidad.	Cabuya + Tubos en forma horizontal	Resistencia a la compresión: 2,4 Mpa	91%
			Resistencia a la flexión: 0,02 Mpa	
Aditivo Sika Poro Plus	Se compone de microesferas de vidrio huecas que reducen la densidad del material y mejoran el aislamiento acústico y térmico	5 ml de aditivo	Resistencia a la compresión: 1,41 Mpa	97%
			Resistencia a la flexión: 0,04 Mpa	

Fuente: Tapial Alivianado, Cárdenas y Sarmiento, 2017 **Elaboración:** Propia.

Los resultados obtenidos de la investigación realizada por Cárdenas y Sarmiento indican que el prototipo concebido mediante la combinación de Cabuya y tubos de PVC dispuestos de forma horizontal demostró ser la opción más eficiente, ya que este logró una reducción significativa del 9 % del peso con respecto con el tapial convencional, a la par que experimentó un aumento apreciable de su resistencia a la compresión, alcanzando los 2,4 Mpa. Estos resultados indican claramente que este enfoque se presenta como una alternativa para la construcción de un nuevo tipo de tapial.

1.6. Tipos de ensayos y pruebas de laboratorio

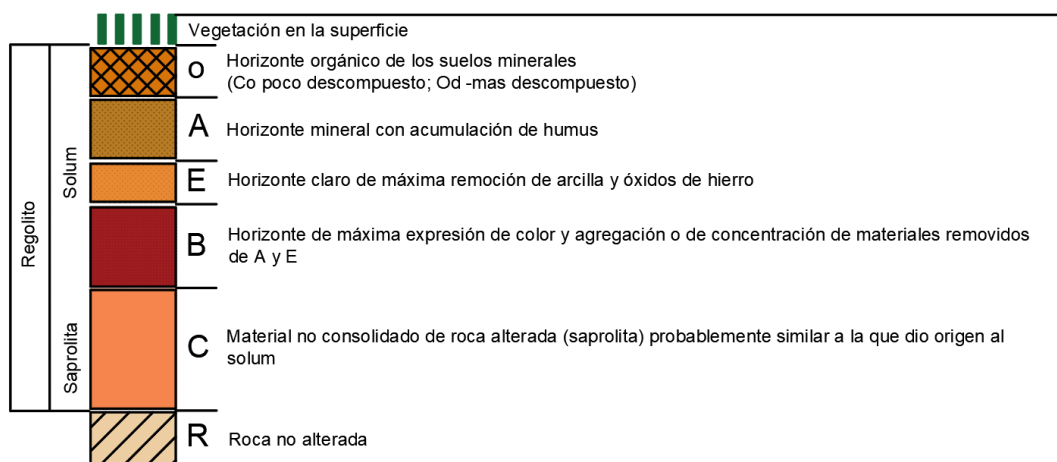
Cuando se inician proyectos de construcción con tierra, es fundamental tener en cuenta que no todos los tipos de suelos son idóneos para edificar. Por ello, es importante elegir el tipo de tierra apropiado para cada método constructivo.

Según Neves y Borges (2011) la selección del suelo implica obtener muestras representativas en cantidades suficientes para llevar a cabo pruebas y ensayos. Estas deben mezclarse, homogeneizarse y cuartearse para obtener la muestra de estudio. El cuarteamiento implica la formación de un monto de la muestra inicial, dividirlo en 4 partes iguales, tomar las dos partes opuestas y descartar las otras.

Una vez seleccionada la muestra de estudio, se procede con las pruebas y ensayos, los cuales pueden ser de laboratorio o pruebas de campo empíricas. En el caso específico del tapial, las principales características del suelo incluyen la distribución granulométrica, los índices de plasticidad y la curva granulométrica. El material por extraer para la fabricación del tapial, por lo general, parte desde el horizonte B como se muestra en la figura 16.

Figura 16

Horizontes principales del suelo



Nota. Tomado de. *Técnicas de construcción con tierra*, (p.13), por Neves C. Borges O., 2011.

1.6.1. Ensayos Empíricos o de campo

Los ensayos de campo o empíricos son utilizados para analizar la composición del suelo, estos pueden no ser muy exactos sin embargo permiten reconocer si la tierra es apta para la construcción (Minke, 2001). Estos ensayos se dividen en dos categorías principales: ensayos de campo sensoriales y ensayos de campo estandarizados. Las tablas 7 y 8 describen los ensayos correspondientes a cada categoría.

Tabla 7

Ensayos de campo sensoriales

Ensayo	Descripción
Ensayo de Olor	Inodoro: Suelo Puro apto para la construcción. Oloro: Suelo con materia orgánica
Ensayo de Mordedura o gusto	Arenoso: Las partículas se mueven en la boca. Arcilloso: Las partículas se pegan en la boca.
Ensayo de lavado o tacto	Arenosa/gravosa: Las partículas carecen de cohesión y se sienten claramente. Limosa: Las partículas tiene una moderada cohesión, áspera de fácil desprendimiento. Arcillosa: Sensación platica y pegajosa, de difícil desprendimiento.
Ensayo visual	Arcilloso/Limoso: Suelo con partículas finas que en estado húmedo presenta grietas. Arenoso: Suelo con partículas grandes claramente visibles.
Ensayo de color	Color oscuro o negro: Suelo con materia orgánica. Color blancuzco: Suelo con carbonatos, yeso o sales. Color pardo amarillento: Suelo arcilloso con óxidos de hierro. Colores rojizos: Suelo con óxidos férricos. Colores heterogéneos grises, rojos o pardos: Suelos con compuestos ferrosos. Colores grises verdoso o azulados: Arcillas saturadas. Los diferentes colores del suelo se pueden determinar de acuerdo con la Tabla de Munsell. (Ver figura 17)

SIGUE >>

<<VIENE

Ensayo de corte	Arcillosa: Superficie cortada brillante
	Limosa: Superficie cortada opaca
Ensayo de adhesión	Arcillosa: Cuesta introducir el cuchillo o espátula, las partículas de adhieren.
	Arenosa/Limosa: El cuchillo o espátula se introduce fácilmente y no se adhieren las partículas,

Fuente: Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejoras: Un caso práctico en Senegal, Hernández, 2016. **Elaboración:** Propia

Figura 17

Tabla Munsell

Atributos	Suelo 1		Suelo 2	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo oscuro 10YR4/6	Amarillo 10YR7/6	Amarillo pálido 2.5Y7/3	Amarillo pálido 2.5Y8/2
L*	42.36	48.60	71.59	83.32
a*	15.23	13.82	6.02	3.57
b*	28.15	29.08	19.25	14.02
Color				

Atributos	Suelo 5		Suelo 6	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo pálido 5Y8/4	Amarillo pálido 5Y8/3	Pardo rojizo oscuro 2.5YR5/3	Pardo rojizo oscuro 2.5YR3/4
L*	70.89	77.29	28.44	34.16
a*	0.88	0.69	13.68	11.90
b*	22.05	14.00	13.61	12.03
Color				

Atributos	Suelo 3		Suelo 4	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo olivo claro 2.5Y5/3	Gris pardo claro 2.5Y6/2	Pardo oscuro 7.5YR3/2	Gris 7.5YR5/1
L*	51.95	61.89	34.09	49.66
a*	4.62	3.35	6.92	4.14
b*	17.23	14.37	5.76	4.15
Color				

Atributos	Suelo 7		Suelo 8	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Olivo oscuro grisáceo 5Y3/2	Olivo grisáceo 5Y4/2	Pardo fuerte 7.5YR2.5/3	Pardo oscuro 7.5YR3/2
L*	28.51	38.57	28.63	35.60
a*	3.59	3.13	9.76	7.95
b*	10.67	10.07	12.27	10.35
Color				

Atributos	Suelo 9		Suelo 10	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo olivo 2.5Y6/8	Amarillo 2.5Y7/6	Amarillo pálido 5Y7/3	Olivo pálido 5Y6/3
L*	58.27	65.78	57.80	67.51
a*	8.38	6.05	3.13	2.41
b*	31.40	25.60	22.63	18.93
Color				


Atributos	Suelo 13		Suelo 14	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Pardo amarillo claro 10YR6/4	Pardo amarillo 10YR5/8	Rojo pálido 2.5YR7/2	Rojo débil 2.5YR5/2
L*	53.52	59.24	53.06	72.38
a*	13.32	10.85	8.75	5.51
b*	38.15	32.53	10.84	8.46
Color				

Atributos	Suelo 11		Suelo 12	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Munsell	Amarillo pálido 2.5Y8/3	Amarillo 2.5Y8/6	Gris claro 5Y7/2	Amarillo pálido 5Y7/3
L*	67.45	78.82	62.66	68.98
a*	6.75	4.45	0.29	0.21
b*	28.93	22.42	19.19	14.39
Color				

Nota: Sistema de notación Munsell y atributos cromáticos en húmedo y seco. Tomado de *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal.*, (p.5), por Hernández J., 2016.

Tabla 8

Ensayos de Campo Estandarizados

Ensayo/ Norma	Proceso	Descripción
<p>Ensayo de contenido de humedad.</p> <p>Este ensayo se lo realiza al momento de preparar la tierra para la construcción.</p> <p>“Norma Peruana E-080”^a</p>	<ul style="list-style-type: none"> Hacer una bola del tamaño del puño. Dejarla caer sobre una superficie firme y plana a una altura de 1,10 m. 	<p>Poca humedad: La bola se desintegra.</p> <p>Mucha humedad: La bola se mantiene entera.</p> <p>Humedad adecuada: La bola se deshace en 3 o 4 partes.</p>
<p>Ensayo de cinta de barro o de rollo/ cohesión</p> <p>Sirve para determinar la existencia de arcilla.</p> <p>“Norma SAZS 724”^b</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tomar la muestra y formar un cilindro con un diámetro de 12 mm. Aplanar gradualmente con los dedos hasta formar una cinta de 4 mm de espesor, permitiendo que cuelgue hasta que se rompa. 	<p>≤ 8cm: Poco o nada de arcilla</p> <p>8 a 12 cm: 50% de arcilla</p> <p>> 12 cm: Demasiada arcilla</p>
<p>Ensayo de sedimentación</p> <p>Sirve para determinar la composición del suelo.</p> <p>“Norma ASTM D7928-17”^c</p>	<ul style="list-style-type: none"> Colocar una muestra de tierra en un frasco y agitarla. Dejar reposar por 45 minutos para que las partículas gruesas se depositen en el fondo y las finas queden en la parte superior. Para determinar la composición del suelo se debe medir el depósito (100%) y luego cada capa formada, aplicando una regla de tres se podrá determinar el porcentaje correspondiente a cada capa. 	 <p>MATERIA ORGÁNICA</p> <p>ARCILLA</p> <p>LIMO</p> <p>ARENA</p> <p>GRAVA</p>

Nota: ^aNTE E 0.80 (2000). ^bSAZS 724 (2001). ^cASTM d7928-17 (2017).

1.6.2. Ensayos de laboratorio

Los análisis de laboratorio permiten la evaluación y determinación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos (Minke, 2001). En la tabla 9 se presentan los distintos tipos de ensayos de laboratorio, así como sus materiales, procedimientos y gráficos correspondientes.

Tabla 9

Tipos de ensayos de laboratorio

Ensayo/Norma	Herramientas y equipos	Proceso	Método de comprobación / gráfica
<p>Ensayo granulométrico: Técnica para caracterizar y clasificar los suelos.</p> <p>ASTM D - 422 - 63^a</p> <p>ASTM T 88^b</p> <p>NTE INEN 0697^c</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tamices N° 4,10, 30,40, 60, 100, 200. Balanza Recipientes Horno 500 g de muestra de suelo Tamizadora 	<ol style="list-style-type: none"> Homogenizar y secar durante 24 horas la muestra. Colocar la muestra seca en los tamices ordenados desde la mayor a la menor apertura. Tamizar durante 10 minutos. Pesar el contenido de cada tamiz. Establecer la relación con el total inicial. 	<p>Curva Granulométrica</p>

SIGUE >>

<<VIENE

Ensayo de consistencia de suelo límite líquido

Sirve para determinar la humedad a la que un suelo cambia de un estado semilíquido a plástico.

ASTM D4318^d

AASHTO T 89^e

NTE INEN 0691^f

DIN 18122^g

- Casagrande
- Balanza
- 50 a 70 g de muestra de suelo
- Horno
- Recipientes
- Espátula
- Tamiz N° 40
- Agua

1. Tamizar la muestra en la malla de 0,4 mm (N°40)
2. Mezclar la muestra con agua hasta obtener una consistencia pastosa
3. Colocar la mezcla en la copa de Casagrande y separar con el ranurador en dos partes
4. Girar la manilla a una velocidad de 2 ciclos y contar la cantidad de golpes entre 15 y 40 golpes la ranura debe cerrarse.
5. Tomar una muestra de 5 cm³ del centro y pesar la muestra para posteriormente ponerla a secar durante 24 horas
6. Pesarse la muestra y determinar su contenido de humedad.

Ensayo de consistencia de suelo límite plástico

Permite determinar el punto en el que un suelo cambia de estado plástico a semisólido.

ASTM D4318^d

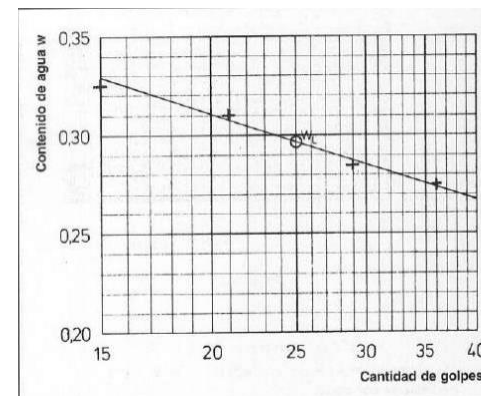
AASHTO T 90^h

NTE INEN 0692ⁱ

- Muestra de suelo
- Recipientes
- Agua
- Horno
- Balanza

1. Tomar la muestra de suelo y moldearla en pequeños rollos de 3mm hasta que se desmoronen.
2. De esta mezcla extraer entre 5 a 6 g colocar en los recipientes y pesar.
3. Dejar secar durante 24 horas para posteriormente pesar. Repetir el ensayo tres veces
5. Calcular el contenido de humedad de las muestras y obtener el valor promedio de estas para definir el límite plástico.

Método de multipuntos según Norma Alemana DIN 18122



SIGUE >>

<<VIENE

Ensayo de resistencia a la compresión

Este ensayo permite probar suelos o agregados compactados de laboratorio tratados y no tratados.

- Prensa hidráulica

AASHTO T 190-90^j

ASTM D 2844-69^k

Ensayo de resistencia a la abrasión

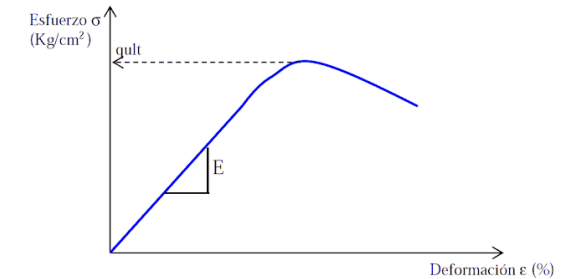
Este método se utiliza para evaluar la resistencia de un material a sufrir desgaste debido a la fricción o al roce continuo con otro material abrasivo.

- Balanza
- Cepillo de acero

NTC 5324^l

1. Registrar las medidas y el peso de la muestra a probar.
2. Colocar la muestra en la prensa hidráulica
3. Calibrar la prensa y accionarla hasta que la muestra se fracture.
4. Registrar la fuerza que logra soportar la muestra.

Diagrama carga contra desplazamiento.



1. Pesar y numerar las muestras del más liviano al más pesado
2. Tomar la muestra y cepillar una de sus caras moviendo el cepillo en dirección de ida y vuelta a una velocidad de un movimiento por segundo, durante 1 minuto.
3. Limpiar la muestra y pesarla
4. Calcular la superficie de desprendimiento.
5. Determinar el coeficiente de abrasión

Nota: ^a ASTM D-422-63 (1998). ^b AASHTO T 88 (2021). ^c NTE INEN 0697 (2010). ^d ASTM D4318 (2005). ^e AASHTO T 89 (2021). ^f NTE INEN 0691 (1982). ^g DIN 18122 (1997). ^h AASHTO T 90 (2021). ⁱ NTE INEN 0692 (1982). ^j AASHTO T 190-90 (1975). ^k ASTM D 2844-69 (1975). ^l NTC 5324 (2004)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2. CAPITULO II: METODOLOGÍA

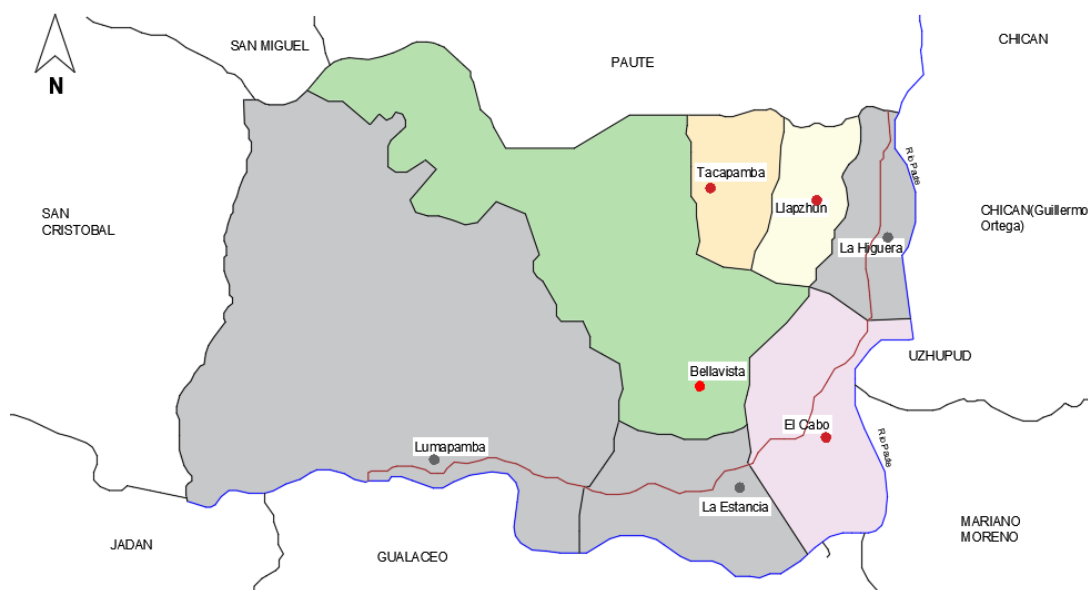
2.1. Sectorización de construcción con tierra en la parroquia El Cabo

En capítulos anteriores se ha destacado que no todos los suelos son adecuados para la construcción con tierra, por lo tanto, para este estudio es esencial delimitar las zonas de las cuales se pretende extraer la materia prima para la fabricación del prototipo.

La parroquia El Cabo destaca por su diversidad arquitectónica en tierra, particularmente en las zonas rurales. Para determinar las áreas adecuadas para la extracción de tierra en este estudio, se realiza un análisis de las zonas con mayor presencia de arquitectura en tierra. El objetivo es asegurar que la tierra extraída de cada zona seleccionada sea adecuada para la construcción. El proceso de identificación inicia con el análisis de las comunidades que contienen un mayor número de construcciones en tierra. En consecuencia, se han identificado cuatro comunidades clave: El Cabo centro, Bellavista, Tacapamba y Llapzhun. (Ver mapa 1)

Mapa 1

Zonas de estudio



Nota: Adaptado de PDOT EL CABO 2019-2023

2.1.1. Zona 1: Cabo Centro

La zona 1 está ubicada en el centro parroquial de El Cabo, donde se concentra el mayor número de construcciones con tierra, algunas en estado de deterioro, otras restauradas o bien conservadas. Estas edificaciones se han desarrollado tanto en tapial como en adobe. En total se identificaron 26 construcciones en tierra las mismas que se señalan en el Mapa 2, y se distribuyen de la siguiente manera: 20 son viviendas de dos plantas en estado de deterioro, 3 son viviendas de dos plantas restauradas, 2 son viviendas de una planta en estado de deterioro y 1 es una vivienda de una planta en estado de demolición.

Mapa 2

Construcciones con tierra Zona 1

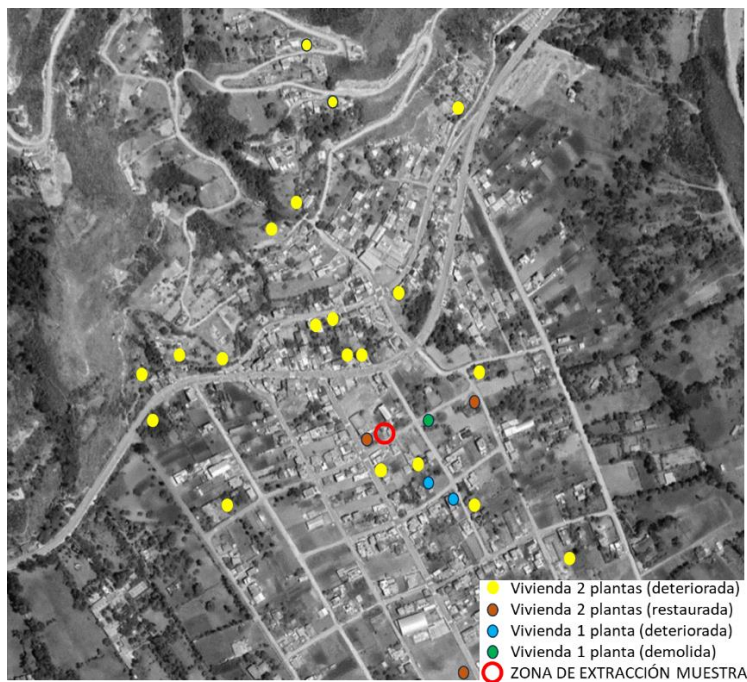


Figura 18

Registro fotográfico de Zona 1



2.1.2. Zona 2: Llapzhun

La zona 2 se encuentra entre las comunidades de la Higuera y Tacapamba. En esta comunidad, las edificaciones de tierra muestran signos de deterioro y en algunos casos se han complementado con materiales convencionales. Las edificaciones identificadas se han desarrollado principalmente en adobe. Se lograron identificar 7 edificaciones en tierra las mismas que se señalan en el mapa 3, y están desarrolladas de la forma siguiente: 5 viviendas de dos plantas en estado de deterioro, 1 capilla en estado de deterioro y 1 vivienda de una planta revocada con hormigón.

Mapa 3

Construcciones con tierra Zona 2

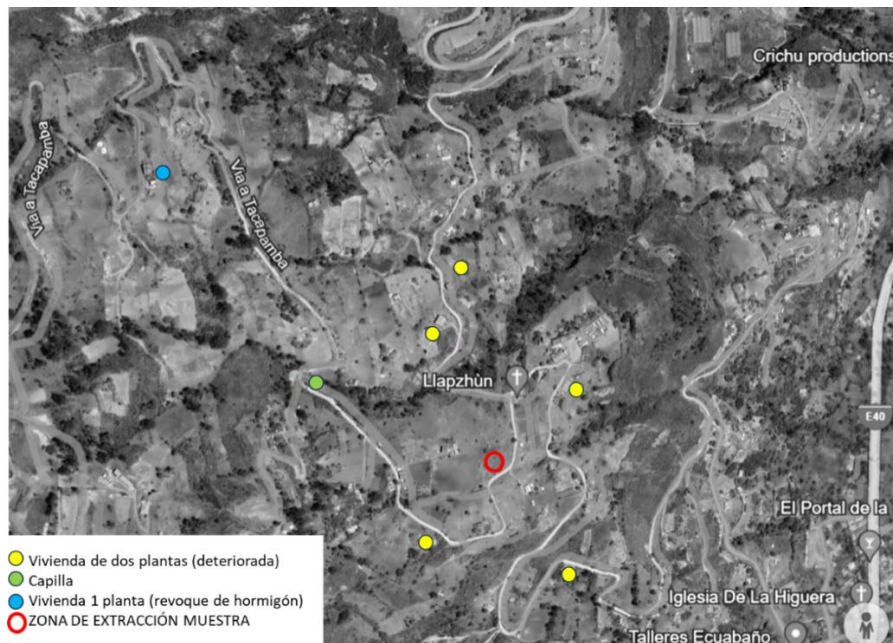


Figura 19

Registro fotográfico de Zona 2



2.1.3. Zona 3: Bellavista

Esta zona se encuentra al norte del centro parroquial, constituye un centro poblado menor con viviendas a lo largo de la vía principal y con algunos caminos vecinales internos. En esta zona las construcciones de tierra se encuentran en estado de deterioro y algunas viviendas se han restaurado. Las edificaciones identificadas están desarrolladas tanto en tapial como en adobe. Se han logrado identificar 10 construcciones con tierra, señaladas en el Mapa 4, y enunciadas a continuación: 5 viviendas de dos plantas en estado de deterioro, 1 vivienda de 2 plantas con revoque de hormigón, 3 viviendas de 1 planta en estado de deterioro y 1 vivienda de una planta restaurada.

Mapa 4

Construcciones con tierra Zona 3

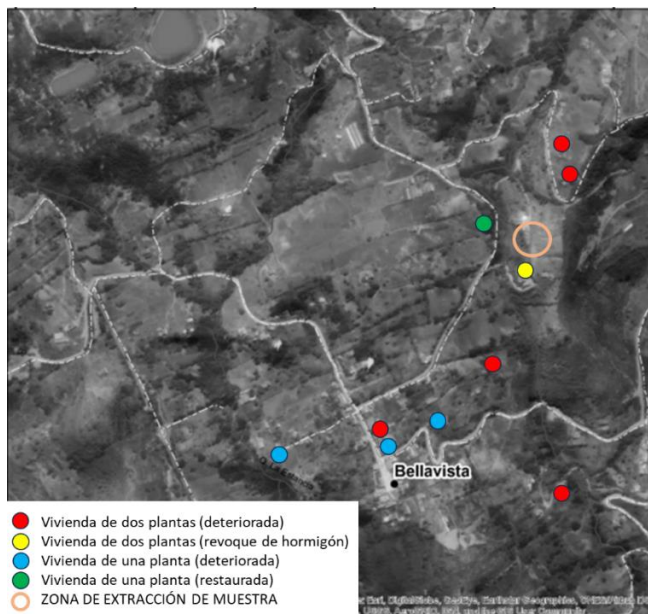


Figura 20

Registro fotográfico de Zona 3



2.1.4. Zona 4: Tacapamba

La zona 4 se encuentra al noreste de la comunidad de Bellavista, constituye un centro poblado menor. En la zona las edificaciones en tierra se encuentran en estado de deterioro y de restauración. Las construcciones con tierra identificadas se han desarrollado en tapial y adobe. Se han logrado identificar 12 edificaciones en tierra, las mismas que se señalan en el Mapa 5, y se detallan de la siguiente manera: 7 viviendas de dos plantas en estado de deterioro, 1 vivienda de dos plantas restaurada y 4 viviendas de 1 planta en estado de deterioro.

Mapa 5

Construcciones con tierra Zona 4

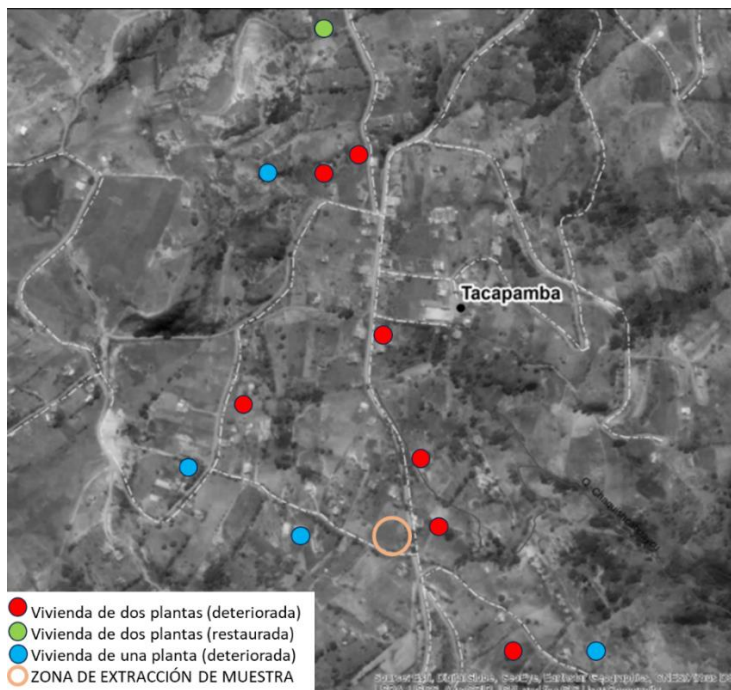


Figura 21

Registro fotográfico de Zona 4



2.2. Análisis de las muestras

Una vez extraídas las tierras de las cuatro zonas seleccionadas se procede a realizar los ensayos empíricos y de laboratorio que se describen a continuación:

2.2.1. Ensayos empíricos o de campo

Se toman una muestra de 500 g para la realización de los ensayos organolépticos, se determinará si las tierras seleccionadas son aptas para la construcción del tapial, en las Tablas 10,11, 12,13,14,15,16 se describen cada uno de los procedimientos y resultados obtenidos.

Tabla 10

Ensayo de Olor, Mordedura o gusto y Visual


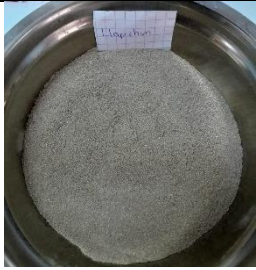


Zona	Ensayo	Resultados	Muestra
El Cabo Centro	Ensayo de Olor	Inodoro-Apto	
	Ensayo de Mordedura	Textura harinosa/pegajosa Arcillosa	
	Ensayo Visual	Mas partículas finas: Arcilloso	
Llapzhun	Ensayo de Olor	Inodoro-Apto	
	Ensayo de Mordedura	Textura harinosa/pegajosa Arcillosa	
	Ensayo Visual	Mas partículas finas: Arcilloso	
Bellavista	Ensayo de Olor	Inodoro-Apto	
	Ensayo de Mordedura	Textura harinosa/pegajosa Arcillosa	
	Ensayo Visual	Mas partículas finas: Arcilloso	
Tacapamba	Ensayo de Olor	Inodoro-Apto	
	Ensayo de Mordedura	Las partículas se mueven en la boca Limoso	
	Ensayo visual	Partículas claramente visibles: Arenoso	

Tabla 11*Ensayo de Lavado o Tacto*





Zona	Resultados	Tipo de suelo	Muestra
El Cabo Centro	Suelo pegajoso, no se puede limpiar fácilmente	Arcillosa	
Llapzhun	Suelo pegajoso, no se puede limpiar fácilmente	Arcillosa	
Bellavista	Suelo pegajoso, no se puede limpiar fácilmente	Arcillosa	
Tacapamba	Suelo pegajoso, fácil de limpiar	Limosa	

Tabla 12*Prueba Visual con tabla Munsell*



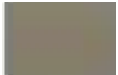



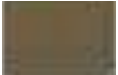

Zona	Colores Tabla Munsell	Resultados	Muestra
El Cabo Centro	 3/2 10R Marrón Rojizo Oscuro	Presencia de óxidos de hierro	
Llapzhun	 6/1 25YR Gris amarillento	Presencia de materia orgánica descompuesta, óxidos de hierro.	
Bellavista	 6/3 10R Rojo Opaco	Presencia de óxidos de hierro ligados a arcillas	
Tacapamba	 5/2 25YR Amarillo Gris Oscuro	Presencia de sulfuros, materia orgánica	

Tabla 13*Ensayo de Corte*









Zona	Resultados	Tipo de suelo	Muestra
El Cabo Centro	Superficie brillante	Arcillosa	
Llapzhun	Superficie opaca	Limosa	
Bellavista	Superficie brillante	Arcillosa	
Tacapamba	Superficie Opaca	Limosa	

Tabla 14*Ensayo de adhesión*

Zona	Resultados	Tipo de suelo	Muestra
El Cabo Centro	Cuesta introducir el cuchillo y se adhieren las partículas	Arcillosa	
Llapzhun	Cuesta introducir el cuchillo y se adhieren las partículas	Arcillosa	
Bellavista	Cuesta introducir el cuchillo y se adhieren las partículas	Arcillosa	
Tacapamba	El cuchillo se introduce fácilmente y no se adhieren partículas	Arenoso/Limoso	

Los resultados de los ensayos de campo sensoriales han permitido deducir que, según las pruebas de olor, gusto, tacto, corte y adhesión, las zonas 1, 2 y 3 presentan suelos arcillosos, mientras que la zona 4 exhibe un suelo más arenoso/limoso. Además, mediante el ensayo del color, se ha identificado que las muestras de las zonas 2 y 4 contienen materia orgánica, lo cual indica que no son adecuadas para la construcción.

Tabla 15*Ensayo de cinta de barro o rollo*





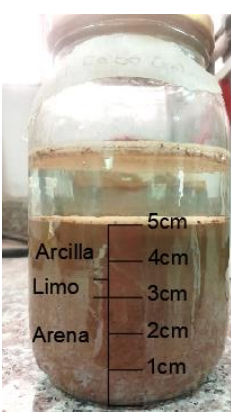

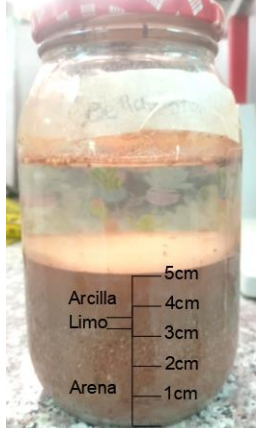
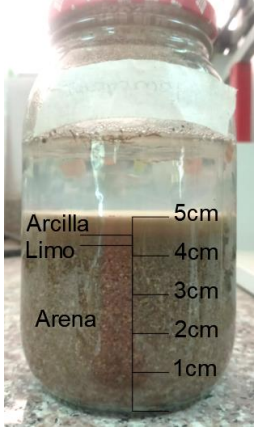
Zona	Resultados	Contenido de humedad	Muestra
El Cabo Centro	11cm	50% de arcilla	
Llapzhun	9 cm	50% de arcilla	
Bellavista	13,5	Demasiada arcilla	
Tacapamba	15,5	Demasiada arcilla	

Tabla 16

Ensayo de sedimentación

Zona	El Cabo Centro	Llapzhun	Bellavista	Tacapamba
Muestra				
Resultados	30% arcilla 10% limo 60% arena 0% grava	18% arcilla 7% limo 75% arena 0% grava Posee materia orgánica	28% arcilla 12% limo 60% arena 0% grava	10% arcilla 5% limo 85% arena 0% grava Posee materia orgánica







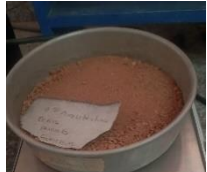

















De acuerdo con los resultados del ensayo de la cinta de barro se deduce que los suelos de las zonas 1 y 2 poseen la cantidad de arcilla adecuada según la norma SAZS 724. Sin embargo, el ensayo de sedimentación reveló que las zonas 1, 2 y 3 son suelos muy arcillosos por lo que no cumplen con la norma. Dejando como opción viable al suelo de la zona 4.

2.2.2. Ensayo de laboratorio

Para estos ensayos se siguen las normativas correspondientes que indican las cantidades requeridas para cada uno de los ensayos. Las tablas 17, 18 y 19 muestran los ensayos junto con la evidencia fotográfica y los resultados. La tabla 20 detalla la preparación de muestras de tapial de 5x5x5 cm y los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cada una.

Tabla 17

Ensayo Granulométrico

	ZONA 1 El Cabo Centro	ZONA 2 Llapzhun	ZONA 3 Bellavista	ZONA 4 Tacapamba
Cuarteo				
Muestra Seca				
Tamiz N° 10				
Tamiz N° 30				
Tamiz N° 40				
Tamiz N° 60				

<<VIENE

**Tamiz N°
100**



**Tamiz N°
200**



Fondo



	5,16 % Arcilla	1,26 % Arcilla	5,12 % Arcilla	1,43 % Arcilla
Resultados	13,34 % Limo	11,40 % Limo	30,43 % Limo	26,88 % Limo
	81,49% Arena	87,34% Arena	64,44 % Arena	71,69 % Arena

Los resultados del ensayo granulométrico revelan que los suelos de las zonas 1 y 3 contienen la cantidad adecuada de arcilla. Sin embargo, la zona 1 excede los límites de contenido de arena establecidos tanto por la norma E 080 y SAZS 724, que sugieren que el suelo debe contener entre un 50 y un 70 % de arena. Por lo tanto, el suelo de la zona 3 es el más idóneo para la realización del tapial.

Tabla 18

Ensayo de consistencia de suelo límite líquido





















	ZONA 1 El Cabo Centro	ZONA 2 Llapzhun	ZONA 3 Bellavista	ZONA 4 Tacapamba
Muestra pastosa				
Colocación Copa Casagrande				
Ranura				
Toma de muestra				
Muestras obtenidas				
Resultados	Límite Líquido: 41,50 %	Límite Líquido: 28,60%	Límite Líquido: 28,90 %	Límite Líquido: 43,70%

Tabla 19

Ensayo de consistencia de suelo límite plástico





































	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
	El Cabo Centro	Llapzhun	Bellavista	Tacapamba
Muestra pasta dura				
Muestra 1				
Muestra 2				
Muestra 3				
Muestras obtenidas				
Resultados	Límite plástico: 30,69 % Índice plástico: 10,81% Arcilloso/Limoso	Límite plástico: 24,73 % Índice plástico: 3,87% Arcilloso/Arenoso	Límite plástico: 26,37% Índice plástico: 2,53% Arcilloso/Arenoso	Límite plástico: 34,92 % Índice plástico: 8,78% Arcilloso/Limoso

Tabla 20

Elaboración de muestra de tapial de las zonas de estudio

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
	El Cabo Centro	Llapzhun	Bellavista	Tacapamba
Tierra homogénea y seca				
Prueba de contenido de humedad				
Capa a compactar				
Capa compactada				

SIGUE >>

<<VIENE

Muestra compactada



Muestra seca 7 días



Muestra seca 14 días



Prueba de resistencia a la compresion



Max. Fuerza:
759,537 kgf

Max. Fuerza:
325,618 kgf

Max. Fuerza:
438,814 kgf

Max. Fuerza:
1031,47 kgf

Resultados

Max. Esfuerzo:
30,38 kgf/cm²

Max. Esfuerzo:
13,02 kgf/cm²

Max. Esfuerzo:
17,55 kgf/cm²

Max. Esfuerzo:
41,25 kgf/cm²

2,98 N/mm²

1,27 N/mm²

1,72 N/mm²

4,04 N/mm²

Según los resultados de las pruebas de resistencia, se determina que tanto los suelos 1, 3 y 4 cumplen con el estándar de resistencia promedio establecido en la normativa SAZS 724. La cual sugiere que la resistencia media a la compresión no debe ser menor a 1,5 N/mm².

CAPÍTULO 3

DISEÑO, FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN

3. CAPÍTULO III: DISEÑO, FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN

3.1. Diseño del prototipo del tapial prefabricado alivianado

Habiendo identificado y definido los requisitos que el prototipo debe cumplir, se avanza a la etapa de diseño. En esta, se establecen las dimensiones del prototipo, las especificaciones de los materiales para alivianar. Además, se utiliza el software de modelado 3D para crear una presentación visual del prototipo. También se definen los procesos de fabricación y montaje del prototipo, considerando la eficiencia y el cumplimiento de los plazos establecidos en la norma SAZS 724.

3.1.1. Alivianar

Estrategia: Se concibe el concepto alivianar el tapial mediante la integración de elementos aligerantes, con el objetivo principal de reducir considerablemente el peso de la estructura, manteniendo al mismo tiempo su resistencia y estabilidad.

Para esta fase de propuesta de alivianamiento del prototipo, se presentan tres diseños alternativos que representan diferentes enfoques y soluciones para lograr un tapial aligerado.

Estos tres diseños se basan en el uso de los mismos materiales aligerantes: cabuya y tubos de PVC de 2 pulgadas dispuestos de manera estratégica para lograr una correcta distribución de cargas de tal manera que se minimicen los puntos de tensión y compresión. Sin embargo, cada diseño se ejecuta con dosificaciones diferentes, lo que permitirá explorar diversas combinaciones y proporciones de estos materiales para lograr el mejor equilibrio entre peso reducido y resistencia estructural óptima.

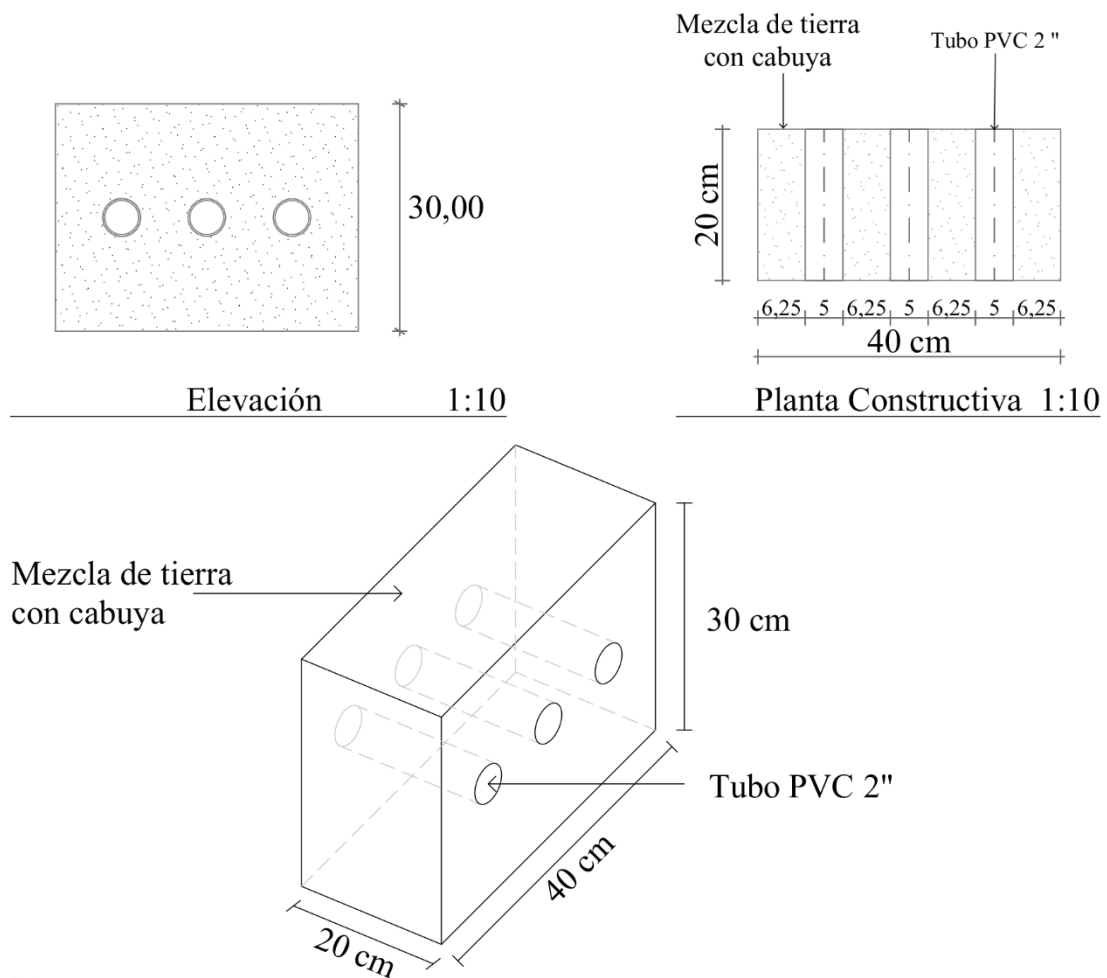
DISEÑO 1:

Este diseño tiene las dimensiones de 20x40x30 cm, lo que resulta en un volumen total de 24000 cm³. Utiliza tubos de PVC dispuestos de forma horizontal, representando el 5% del volumen total del tapial.

Geometría y Dosificación: Para este diseño se emplearán 3 tubos de PVC de 2 pulgadas x 20 cm de largo, 100 gramos de cabuya, 2 sacos de tierra previamente homogenizada con una granulometría que pasa la malla N° 30, la cantidad de agua será la necesaria hasta obtener un contenido de humedad adecuado, sin una dosificación establecida.

Figura 22

Diseño 1 prototipo de tapial prefabricado alivianado



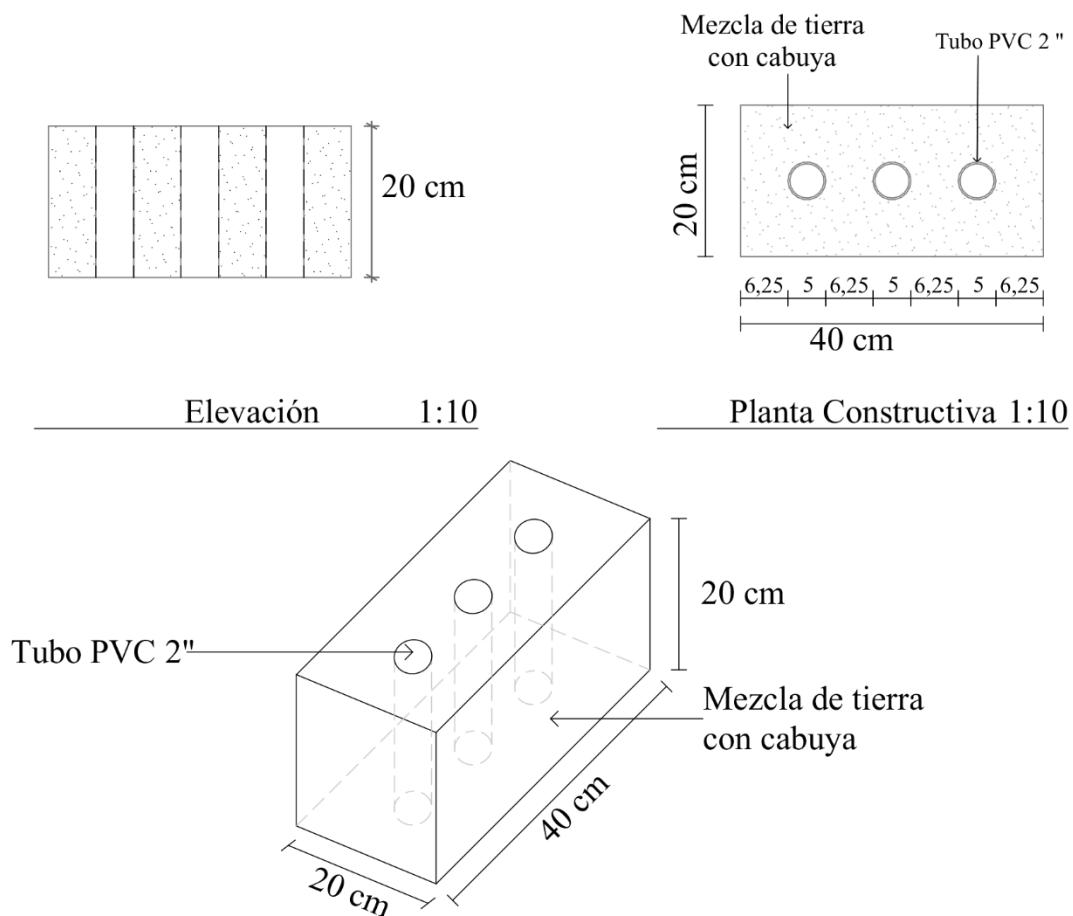
DISEÑO 2:

En este caso las dimensiones empleadas son de 20x20x40 cm, lo que da como resultado un volumen de 16000 cm³. El diseño presenta una disposición vertical de los tubos de PVC. Sin embargo, una vez completada la fase de secado, los tubos se retirarán, dejando solamente los agujeros. Estos representan el 7 % del volumen total del tapial.

Geometría y Dosificación: Para este diseño se emplearán 3 tubos de PVC de 2 pulgadas x 20 cm de largo, 100 gramos de cabuya, 1 ½ sacos de tierra previamente homogenizada con una granulometría que pasa la malla N° 100, la cantidad de agua será la necesaria hasta obtener un contenido de humedad adecuado, sin una dosificación establecida.

Figura 23

Diseño 2 prototipo de tapial prefabricado alivianado



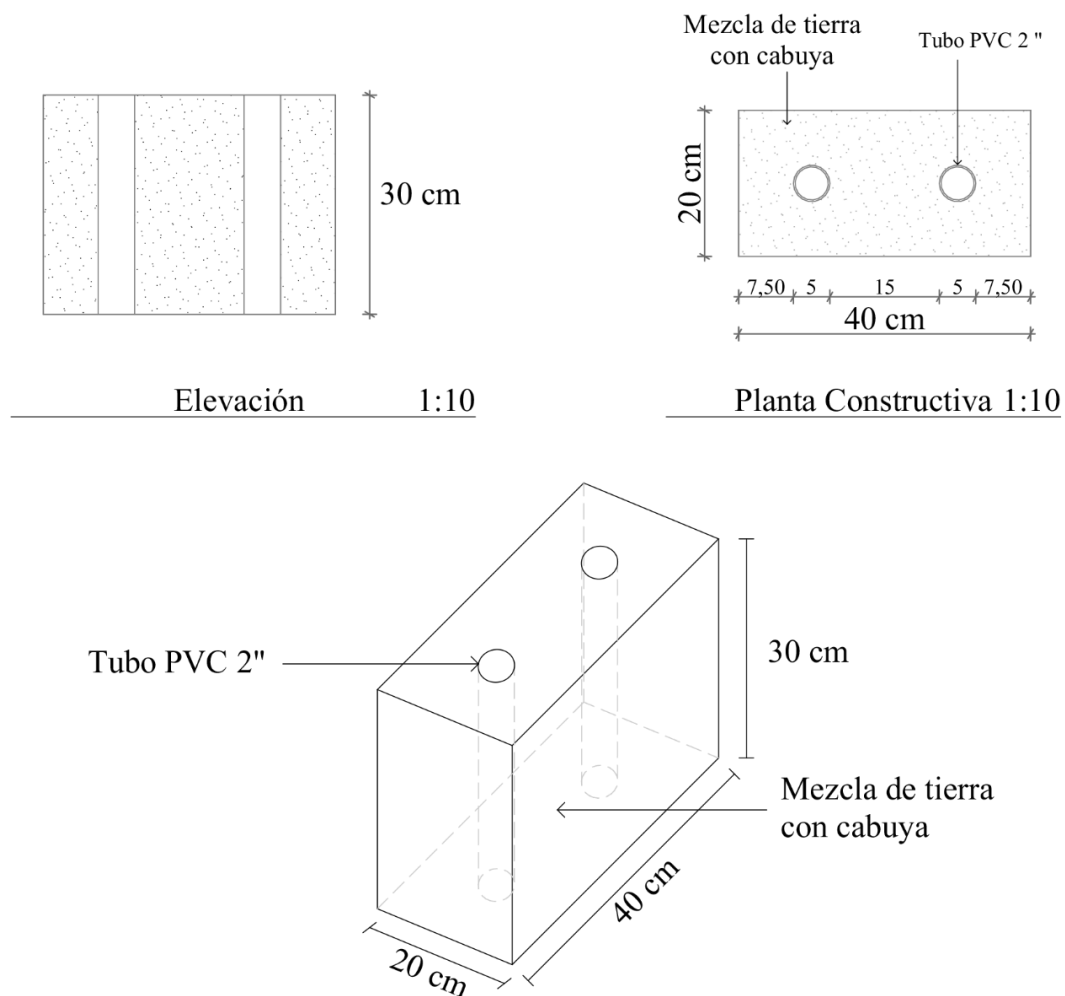
DISEÑO 3:

En esta alternativa, se conservan las dimensiones del diseño inicial, pero se reduce el número de tubos de PVC a dos, dispuestos verticalmente. Al igual que en el diseño 2, los tubos se retirarán tras su colocación, dejando solo los huecos que representan el 5 % del volumen total del tapial.

Geometría y Dosificación: Para este diseño se emplearán 2 tubos de PVC de 2 pulgadas x 30 cm de largo, 200 gramos de cabuya, 2 sacos de tierra previamente homogenizada con una granulometría que pasa la malla N° 30, la cantidad de agua será la necesaria hasta obtener un contenido de humedad adecuado, sin una dosificación establecida.

Figura 24

Diseño 3 prototipo de tapial prefabricado alivianado



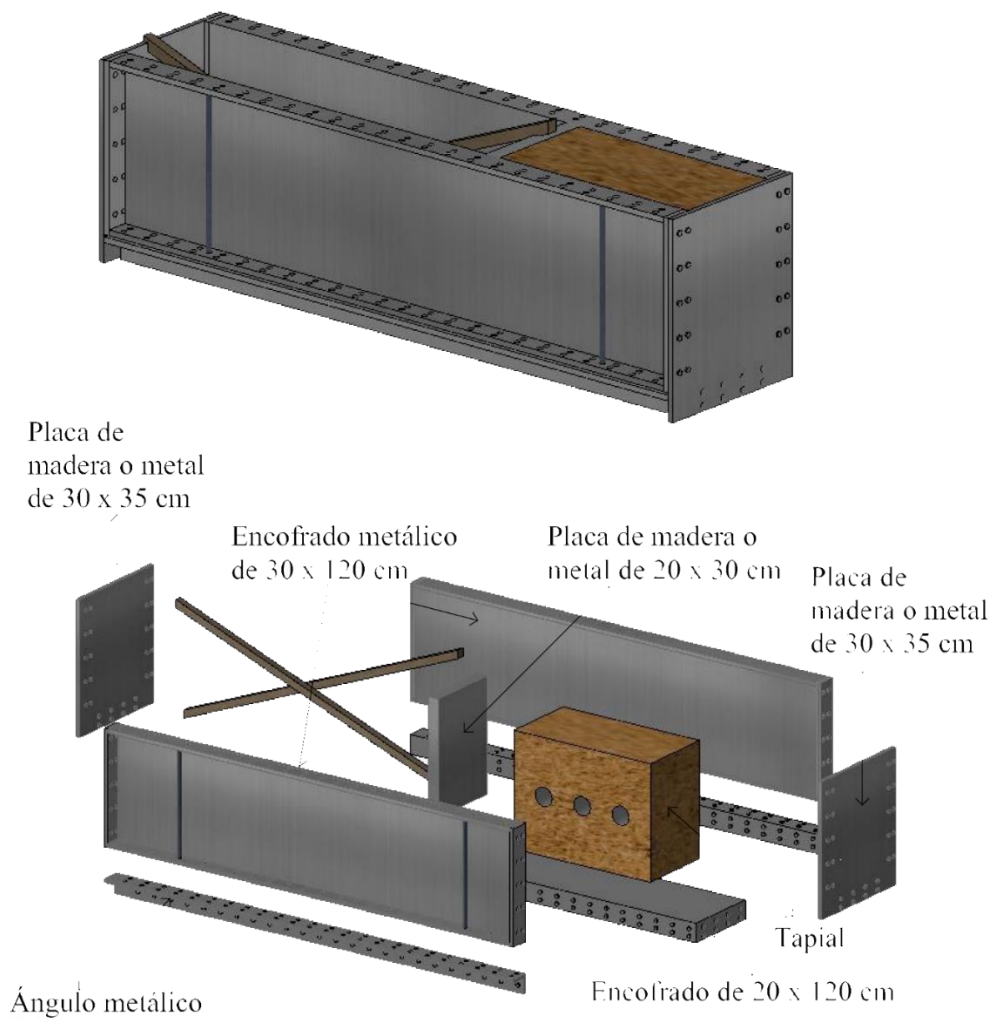
3.1.2. Prefabricar

Estrategia: La propuesta consiste en la implementación de técnicas de prefabricación, haciendo uso de conceptos de modularidad y flexibilidad. El objetivo es agilizar el proceso constructivo del tapial, permitiendo una ejecución más rápida y eficiente en el sitio de trabajo.

Para ello, se emplean encofrados metálicos modulares que puedan adaptarse a las medidas requeridas, también se implementa un sistema de correas para facilitar su transporte e instalación.

Figura 25

Diseño del modelo de prefabricación







3.2. Fabricación del prototipo

Tras el análisis de cada resultado obtenido en las pruebas de laboratorio, se determina que el suelo más adecuado para el prototipo del tapial prefabricado alivianado es el de la zona 3, correspondiente a la comunidad de Bellavista, debido a que cumple con los requisitos establecidos en la norma SAZS 724.

3.2.1. Proceso de fabricación

Tabla 21

Materiales, herramientas y equipo para fabricación del prototipo

Materiales			
			
Tierra previamente homogenizada	Cabuya	Tubos PVC de 2''	Agua




Herramientas y equipos		
		
2 correas	Pisón de 10 Kg	Cofre metálico

Figura 26

Proceso constructivo del prototipo de tapial prefabricado alivianado



3.3. Evaluación del prototipo




La evaluación del tapial prefabricado alivianado busca analizar diversos aspectos del prototipo, esto incluye su resistencia a la compresión y las pruebas visuales. Con ello, se espera verificar si el diseño es el adecuado y si cumple con las especificaciones necesarias para su aplicación en la construcción.

3.3.1. Ensayo de resistencia a la compresión

Esta prueba consiste en evaluar la capacidad de resistencia a fuerzas de compresión. A continuación, se presenta en la tabla 22 la resistencia obtenida en el ensayo realizado a los tres diseños propuestos.

Tabla 22

Ensayo de resistencia a la compresión diseño 1,2 y 3.

Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
		
Max. Fuerza: 8120 kgf	Max. Fuerza: 4760 kgf	Max. Fuerza: 2070 kgf
Max. Tensión: 8,16 kgf/cm ²	Max. Tensión: 8,59 kgf/cm ²	Max. Tensión: 3,22 kgf/cm ²
0,80 N/mm ²	0,84 N/mm ²	0,31 N/mm ²

3.3.2. Ensayo de resistencia a la abrasión

Tabla 23




Ensayo de resistencia a la abrasión diseño 1,2 y 3.

Diseño	Peso Inicial m0 (g)	Peso Final m1(g)	Superficie de desprendimiento S= L*1 (cm2)	Ca= S/m0-m1 (cm2/g)	Coefficiente de abrasión
Diseño 1	290	275	27	1,8	2
	355	340	33	2,2	
Diseño 2	2290	2240	39	1,28	2
	655	645	28,5	2,85	
Diseño 3	1390	1330	51	0,85	0,5
	854	835	15	0,78	

3.3.3. Pruebas visuales

Tabla 24

Pruebas visuales diseño 1,2 y 3

Pruebas	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Inspección visual de la superficie	 <p>Presencia de fisuras que superan los 7,5 cm de longitud y 3 mm de anchura.</p> <p>Superficie en forma de panel.</p>	 <p>Presencia de grietas cuya longitud excede los 7,5cm.</p> <p>Superficie homogénea</p>	 <p>Presencia de grietas superiores a 7,5 cm de largo y 3 mm de ancho.</p> <p>Superficie en forma de panel.</p>

SIGUE>>

<<VIENE

Revisión de la alineación y verticalidad



El prototipo muestra una inclinación bastante marcada



El prototipo se encuentra alineado y mantiene su verticalidad



El prototipo muestra una inclinación leve.

Verificación de la compactación



Falta compactación:
Zonas sueltas
Superficie irregular
Presencia de hendiduras
Áreas blandas que ceden al presionar



Compactación adecuada:
Superficie uniforme y nivelada.
Presencia de hendiduras
Textura homogénea



Falta compactación:
Zonas sueltas
Superficie irregular
Presencia de hendiduras
Áreas blandas que ceden al presionar.

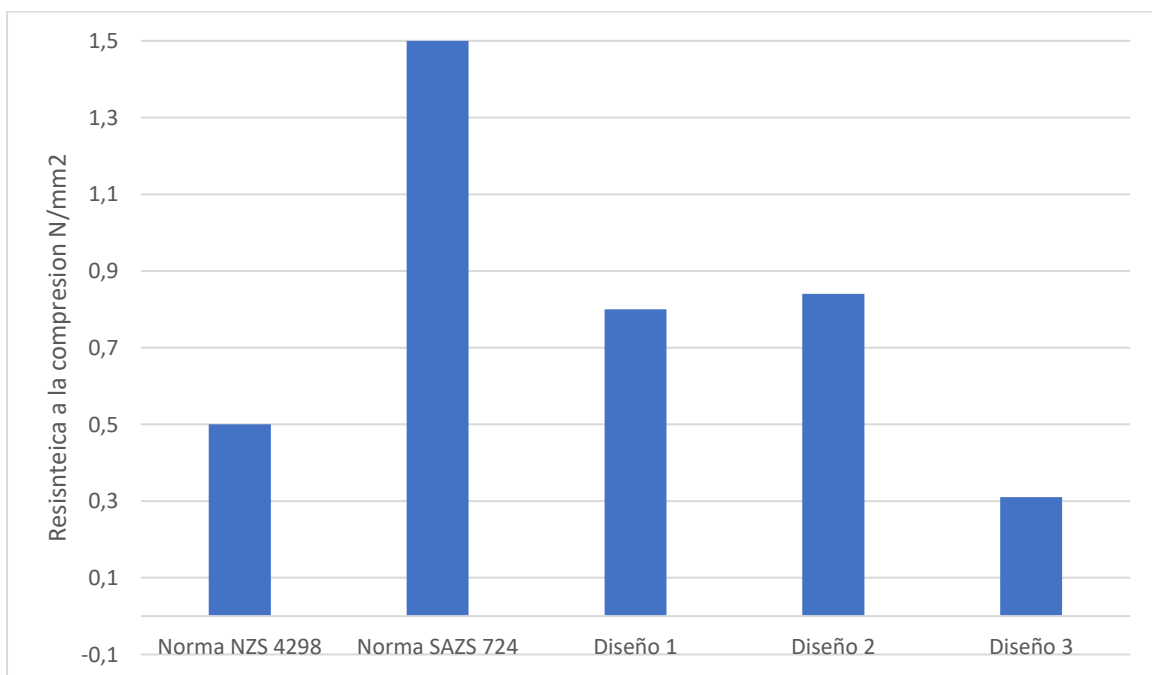
3.3.4. Evaluación de resultados

Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Para este ensayo, se empleó la norma SAZS 724 la cual establece que la resistencia mínima requerida debe ser de 1,5 N/mm² para garantizar la idoneidad del material en aplicaciones de compresión. Según los resultados obtenidos, el diseño 1 cumple aproximadamente con un 53,33 % de la resistencia mínima requerida, mientras que el diseño 2 alcanza un 56 % y el diseño 3 solo logra un 20,67 %. Si bien el diseño 2 tiene la resistencia más alta entre los tres, ninguno de los prototipos alcanza el 100 % de cumplimiento con el requisito de la norma. Sin embargo, al aplicar la norma NZS 4298, se determina que tanto el diseño 1 como el 2 superan la resistencia mínima requerida por esta que es de 0,5 N/mm², dejando al diseño 3 fuera del cumplimiento de cualquiera de las normas utilizadas. Ver gráfico 1.

Gráfico 1

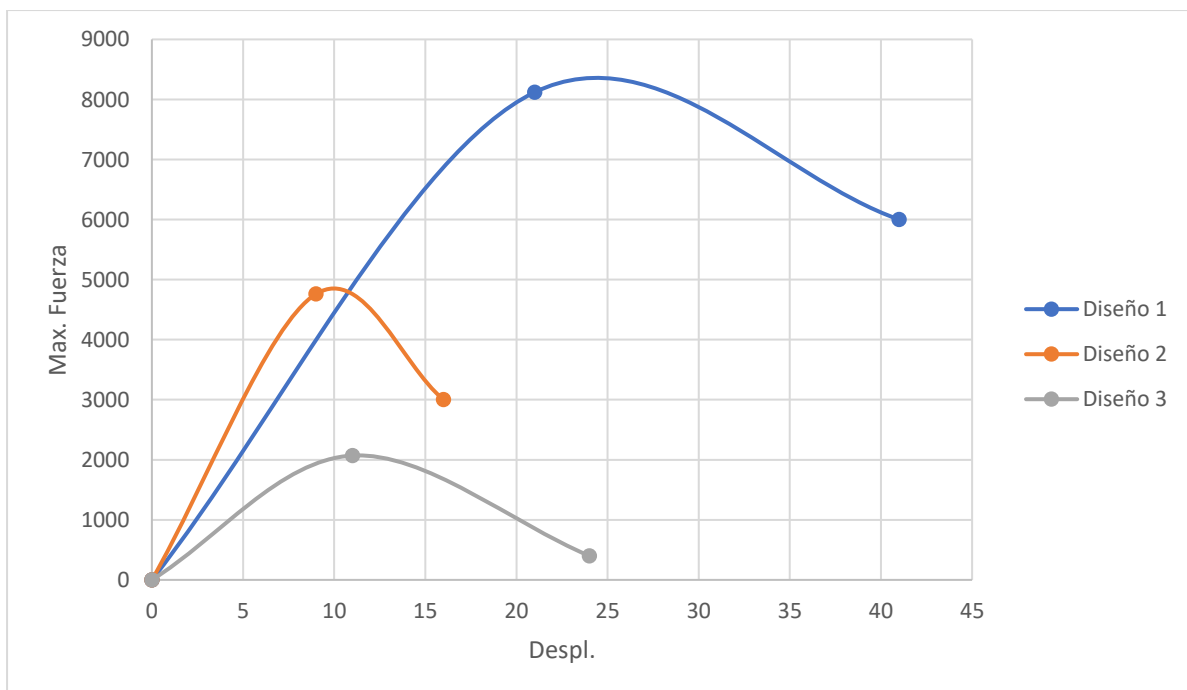
Análisis de resultados de ensayos de resistencia a la compresión.



Así mismo en el gráfico 2 se demuestra que el diseño 1 tiene una alta fuerza máxima pero una baja tensión máxima lo cual podría indicar que el material del diseño es capaz de soportar una gran carga pero su capacidad para resistir a deformación es mínima, por otro lado el diseño 2 tiene una fuerza máxima menor pero una tensión máxima más alta lo que sugiere que el material puede no ser capaz de soportar mucha carga pero es más capaz de resistir la deformación bajo esa carga, y finalmente el diseño 3 tiene tanto la fuerza como la tensión más baja lo cual demuestra que es el de menor resistencia.

Gráfico 2

Diagrama de carga contra desplazamiento diseño 1,2 y 3



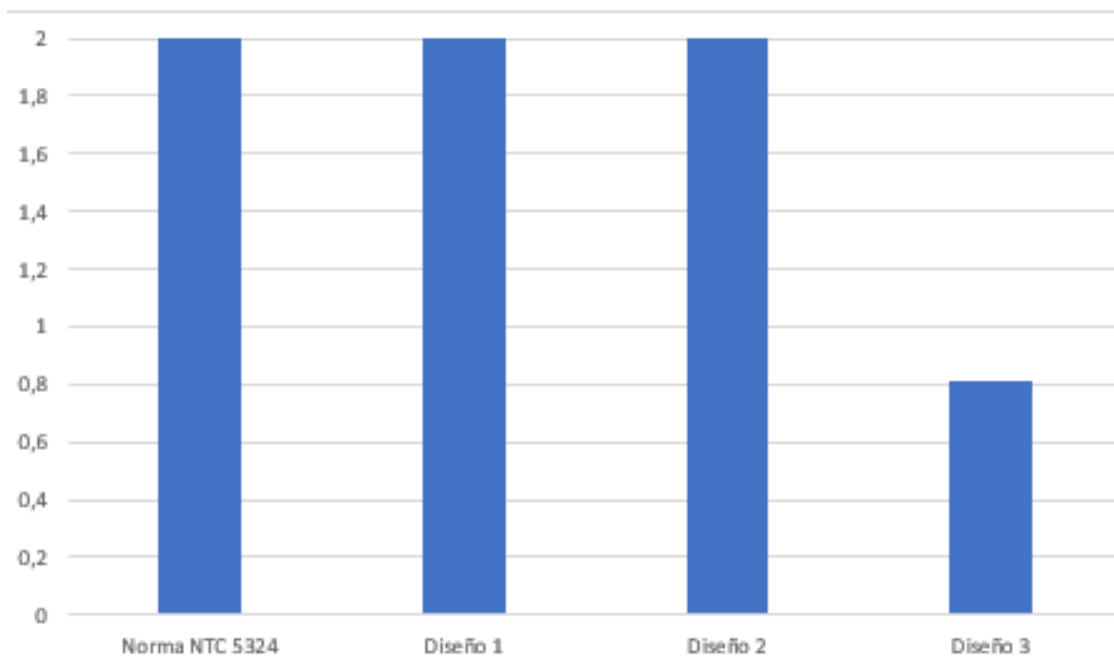
Análisis de resultados de ensayo de resistencia a la abrasión.

Para el analizar los resultados del ensayo de resistencia a la abrasión se aplicó la norma colombiana NTC 5324, en donde establece tres categorías del coeficiente de abrasión mínimo siendo estas: la BSC 20 con un $Ca=2$, la BSC 40 con $Ca=5$ y la BSC 60 con $Ca=7$. Se tomaron dos muestras de cada diseño obteniendo un coeficiente promedio de 2 tanto para el diseño 1 y

2 mientras que el diseño 3 obtuvo un coeficiente de 0,81, con estos resultados se puede definir que tanto el diseño 1 y 2 cumplen con la categoría BSC 20 de la norma sin embargo el diseño 3 no cumple con ninguno de los requisitos de la norma. Ver gráfico 3.

Gráfico 3

Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la abrasión.



Análisis de resultados de las pruebas visuales

Para evaluar los resultados obtenidos en esta fase se hace una estadística de cumplimiento basándose en los criterios evaluados en las pruebas, en donde se asigna un valor numérico entre 1 y 0 para indicar si cada criterio cumple o no con las expectativas. En la tabla 25 se establece el porcentaje de cumplimiento de cada diseño.

Tabla 25*Análisis de resultados de las pruebas visuales diseño 1, 2 y 3*

Diseño	Inspección Visual de la superficie	Alineación y verticalidad	Compactación	Resultados
Diseño 1	No cumple	No cumple	No cumple	0%
Diseño 2	Cumple	Cumple	Cumple	100%
Diseño 3	No cumple	Cumple	No Cumple	33,3%

* Cumple= 1 No cumple=0

De acuerdo con estos criterios de evaluación el diseño 2, muestra el cumplimiento más alto siendo este el más aceptable en términos de calidad sugiriendo que el proceso de fabricación y construcción de este diseño ha sido el más efectivo en comparación con los otros dos diseños que muestran niveles de cumplimiento bajos indicando deficiencias que requieren mejoras significativas para alcanzar los estándares de calidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el análisis teórico y normativo del primer capítulo, se han explorado los principios fundamentales y las regulaciones clave en la construcción con tierra. De los 55 documentos normativos examinados, se ha observado que solo 11 mencionan la técnica del tapial y dentro de estos únicamente el SAZS 724 y la NZS 4298 se enfocan en las directrices para la construcción del tapial.

En el segundo capítulo se hace la sectorización y extracción de muestras de las zonas con mayor presencia de arquitectura en tierra. Mediante ensayos empíricos y de laboratorio, se evalúa la viabilidad de cada tipo de suelo, resultando como el más idóneo el de la zona 3 que corresponde a la comunidad de Bellavista.

En el último capítulo se ha completado la etapa de diseño, fabricación y evaluación de los tres modelos de tapial prefabricado alivianado. Durante el proceso de fabricación, se identificó que el trabajo manual demanda un esfuerzo considerable, lo que sugiere la necesidad de incorporar maquinaria como trituradoras y mezcladoras para homogenizar y lograr una mezcla más efectiva con la cabuya, así como compactadores hidráulicos para mejorar la técnica de la compactación. Además, se destacó la eficacia del encofrado metálico en el proceso de fabricación.

Finalmente, los resultados indican que el diseño 2 tiene un potencial como prototipo de tapial efectivo, al mostrar una mayor resistencia a la compresión establecida por la norma NZS 42998 así como el cumplimiento de la calidad visual y resistencia a la abrasión mínima. Sin embargo, es importante reconocer que ninguno de los diseños cumplió completamente con los estándares de la norma SAZS 724. Por lo tanto, se sugiere implementar mejoras en la optimización del diseño, como la incorporación de estabilizantes como cal o cemento, la selección de materiales y la mejora de los procesos de fabricación para garantizar que futuros

proyectos cumplan con los requisitos de ambas normativas y maximicen su rendimiento, calidad, durabilidad y viabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1975). *Resistance R- Value and expansión pressure of compacted soils.*

(AASHTO T 190-90).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiegbuD8LyFAxVSgIQIHVXXBMcQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdoc%2F281701490%2FAASHTO-T-190-90&usg=AOvVaw322ednctASBi83J05wd0Hr&opi=89978449>

AASHTO. (2020). *Análisis granulométrico por tamizado.* (AASHTO T 88).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwim7ZO067yFAxWESDABHdRYCeIQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F527685297%2FAASHTO-T88&usg=AOvVaw29qguiNHndcldItkpoqX8P&opi=89978449>

AASHTO. (2021). *Determinación del límite líquido de suelos FOP.* (AASHTO T 89).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivwdvt7LyFAxVAsoQIHdvuAusQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F567298194%2FAASHTO-T-89&usg=AOvVaw020CgK_gLy1I0633Dp-31J&opi=89978449

AASHTO. (2021). *Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de suelos FOP.*

(AASHTO T 90).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmtKLH7ryFAxUYSTABHbAeBNAQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F567298177%2FAASHTO-T-90&usg=AOvVaw2kg4GG5S67rLRkrTiKY4PX&opi=89978449>

ABNT. (2012). *Tijolo de solo-cimento-Requisitos* (NBR 8491).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwje6t->

[IyryFAxUWfzABHbPVDwEQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.alroma.com.br%2Fuploads%2Farquivos_documentos%2FNBR_8491_-](https://www.alroma.com.br/uploads/documentos/NBR_8491_-)

[_Norma_Tijolo_de_Solo_Cimento_Requisitos_-](#)

[_Alroma.pdf&usg=AOvVaw0D86HpjHvmevsfuK1AltaI&opi=89978449](#)

ABNT. (2012). *Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água*. (NBR 8492).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjAtOLey7yFAxUJhIQIHaCjDeEQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.alroma.com.br%2Fuploads%2Farquivos_documentos%2FNBR_8492_-

[_Norma_Tijolo_de_Solo_Cimento_-](#)

[_Resist%25C3%25Aancia_e_Absor%25C3%25A7%25C3%25A3o_-](#)

[_Alroma.pdf&usg=AOvVaw2PROKPEHCu0sEIhY1OqSWq&opi=89978449](#)

ABNT. (1989). *Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual*. (NBR10832).

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjDnsPPzLyFAxWgRzABHAnvD8oQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normas.com.br%2Fvisualizar%2Fabnt-nbr-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjDnsPPzLyFAxWgRzABHAnvD8oQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normas.com.br%2Fvisualizar%2Fabnt-nbr-nm%2F6152%2Fnbr10832-fabricacao-de-tijolo-macico-de-solo-cimento-com-a-utilizacao-de-prensa-manual&usg=AOvVaw2Tjgr78JsxwH86UrLoRmLX&opi=89978449)

[nm%2F6152%2Fnbr10832-fabricacao-de-tijolo-macico-de-solo-cimento-com-a-utilizacao-de-prensa-](#)

[manual&usg=AOvVaw2Tjgr78JsxwH86UrLoRmLX&opi=89978449](#)

[manual&usg=AOvVaw2Tjgr78JsxwH86UrLoRmLX&opi=89978449](#)

ABNT. (1989). *Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hi-dráulica*. (NBR 10833).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiD7ofkzbyFAxXtRjABHRuRAIwQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fecivilufes.files.wordpress.com%2F2011%2F04%2Fnbr-10833-fabricac3a7c3a3o-de-tijolo-macic3a7o-e-bloco-vazado-de-solo-cimento-com-utilizac3a7c3a3o-de-prensa-hidrc3a1ulica.pdf&usg=AOvVaw3S0fsIORvouACav9mekonq&opi=89978449>

ABNT. (1994). *Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural*. (NBR 10834).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewja4tyrzryFAxV1ZjABHSxVA-IQFnoECBYQAQ&url=https%3A%2F%2Fecivilufes.files.wordpress.com%2F2011%2F04%2Fnbr-10834-bloco-vazado-de-solo-cimento-sem-func3a7c3a3o-estrutural.pdf&usg=AOvVaw3-Q-asguzMFxT7hsv582C_&opi=89978449

ABNT. (1994). *Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Forma e dimensões*. (NBR 10835).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjrkPzfryFAxVDfDABHUO9CfAQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normas.com.br%2Fvisualizar%2Fabnt-nbr-nm%2F7501%2Fnbr10835-bloco-vazado-de-solo-cimento-sem-funcao-estrutural-forma-e-dimensoes&usg=AOvVaw0BU59xWv6KPeHhsZK-JPoU&opi=89978449>

ABNT. (2013). *Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água*. (NBR 10836).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi0kK_Xz7yFAxW-

fTABHRITAdIQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normas.com.br%2Fvisualizar%2Fabnt-nbr-nm%2F4466%2Fnbr10836-bloco-de-solo-cimento-sem-funcao-estrutural-analise-dimencional-determinacao-da-resistencia-a-compressao-e-da-absorcao-de-agua-metodo-de-ensaio&usg=AOvVaw0SIP9Ba4PyjoeM8N_ZlcPG&opi=89978449

ABNT. (1992). *Solo-cimento - Ensaio de compactação*. (NBR 12023).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj0LyR0LyFAxUjg4QIHUTOCacQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fengenhariacivilunip.weebly.com%2Fuploads%2F1%2F3%2F9%2F9%2F13991958%2Fnbr_12023_-_1992_-_solo_cimento_-_ensaio_de_compactao.pdf&usg=AOvVaw00lNnUhfUED_cQGWO90yRA&opi=89978449

ABNT. (2012). *Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos*. (NBR 12024).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiw48bW0LyFAxUGRzABHXJsAR8QFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.target.com.br%2Fprodutos%2Fnormas-tecnicas%2F36176%2Fnbr12024-solo-cimento-moldagem-e-cura-de-corpos-de-prova-cilindricos-procedimento&usg=AOvVaw36XRot31tz7gkQS3LakpIW&opi=89978449>

ABNT. (2012). *Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos*. (NBR 12025).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjfrYaI0byFAxXptYQIHfJIBNwQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.target.com.br%2Fprodutos%2Fnormas-tecnicas%2F36177%2Fnbr12025-solo->

cimento-ensaio-de-compressao-simples-de-corpos-de-prova-cilindricos-metodo-de-ensaio&usg=AOvVaw2XJmUQs0r_V47FalmMMRKJ&opi=89978449

ABNT. (2012). *Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem*. (NBR 13554).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjzysW50byFAxWWmYQIHU4PAAoQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.target.com.br%2Fprodutos%2Fnormas-tecnicas%2F36079%2Fnbr13554-solo-cimento-ensaio-de-durabilidade-por-molhagem-e-secagem-metodo-de-ensaio&usg=AOvVaw2lcotwBEtzxSZK2JGRY03t&opi=89978449>

ABNT. (2012). *Solo-cimento - Determinação da absorção d'água*. (NBR 13555).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiUjfKF0ryFAxX_SjABHVeICqAQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.target.com.br%2Fprodutos%2Fnormas-tecnicas%2F36080%2Fnbr13555-solo-cimento-determinacao-da-absorcao-de-agua-metodo-de-ensaio&usg=AOvVaw1Ie2JxRVFclsSM6srqGcLC&opi=89978449

ABNT. (2012). *Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural*. (NBR 13553).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjB0Kyt0ryFAxXARzABHdSxAewQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normas.com.br%2Fvisualizar%2Fabnt-nbr-nm%2F10024%2Fnbr13553-materiais-para-emprego-em-parede-monolitica-de-solo-cimento-sem-funcao-estrutural-requisitos&usg=AOvVaw32E_uZKjFMP1wF6iYpa8WW&opi=89978449

AENOR. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.* (UNE 41410).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiF1ObI1byFAxUHroQIHf0uCgUQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.une.org%2Fencuentra-tu-norma%2Fbusca-tu-norma%2Fnorma%3Fc%3DN0042285&usg=AOvVaw0axp6sjZLP1N81gpI8HFRs&opi=89978449>

AFNOR. (2001). *Compressed earth blocks for walls and partitions: definitions - Specifications - Test methods - Delivery acceptance conditions.* (XP P13-901).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi2gbnz1byFAxUIRzABHVv3Dt4QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.scribd.com%2Fdocument%2F473581740%2FXP-P13-901&usg=AOvVaw1fYv1Rito-HK1MG0Qk_EWP&opi=89978449

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks, Standard for terminology.* (ARS 670).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks, definition, classification and designation of compressed earth blocks.* (ARS 671).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks, definition, classification and designation of earth mortars.* (ARS 672).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks, definition, classification and designation of compressed earth blocks masonry.* (ARS 673).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for ordinary compressed earth blocks.* (ARS 674).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for facing compressed earth blocks.* (ARS 675).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for ordinary earth mortars.* (ARS 676).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for facing earth mortars.* (ARS 677).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for ordinary compressed earth block masonry.* (ARS 678).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks- Technical specifications for facing compressed earth block masonry.* (ARS 679).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks. Code of practice for the production of compressed earth blocks.* (ARS 680).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks. Code of practice for the preparation of earth mortars.* (ARS 681).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks. Code of practice for the assembly of compressed earth block masonry.* (ARS 682).

ARSO. (1996). *Compressed Earth blocks. Standard for classification of material identification tests and mechanical tests.* (ARS 683).

ARSO. (2001). *Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures.* (SAZS 724).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwig2dDw6LyFAxUWfzABHepODh0QFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2F>

www.scribd.com%2Fdocument%2F365972388%2FSAZS-724-
pdf&usg=AOvVaw13AcJlw_Bi2mIrojiDg_FQ&opi=89978449

ASTM INTERNATIONAL. (2002). *Standard test method for resistance R- Value and expansión pressure of compacted soils*, (ASTM D 2844-01).

ASTM INTERNATIONAL. (2002). *Determinación del tamaño de las partículas de suelos*. (ASTM D-422-63).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjI5oj76byFAxURSzABHbmNDzoQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F34169222%2FDesignaci%25C3%25B3n_D_422_63_revisada_en_2002&usg=AOvVaw0h0DLVofBZXFGX1k-7f6mQ&opi=89978449

ASTM INTERNATIONAL. (2005). *Método de ensayo estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. (ASTM D4318).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjL0rW07LyFAxW6tYQIHdZJAQoQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.astm.org%2Fd4318-17e01.html&usg=AOvVaw2M7nfSbH195XmJPfwhOGXJ&opi=89978449>

ASTM INTERNATIONAL. (2010). *Standard Test Method for Particle- Size Distribution (Gradation) of Fine- Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis*. (ASTM D7928-17).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYDn07yFAxXtSDABHd7pDQoQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.astm.org%2Fd7928-17.html&usg=AOvVaw17hP3ICNEbaYurBrKtZuym&opi=89978449>

ASTM INTERNATIONAL. (2010). *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems* (ASTM E2392 M-10).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjD1rjN1LyFAxX8TDABHeyrC1YQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fcdn.standards.iteh.ai%2Fsamples%2F73157%2Fa9f888048357439498d2c405d9cc72bf%2FASTM-E2392-E2392M-10.pdf&usg=AOvVaw3DF4i7_Sg8NJFRgzDQAXAT&opi=89978449

Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). *Construcción con tierra en el siglo XXI*.

Informes de La Construcción, 63(523). <https://www-scopus-com.vpn.ucacue.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-80051813863&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ec88a3e5b2aaeb425172de3401ecbfe4&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Construcci%C3%B3n+con+tierra+en+el+siglo+XXI.%29&sl=55&sessionSearchId=ec88a3e5b2aaeb425172de3401ecbfe4&relpos=0>

BIS. (1980). *Code of practice for in-situ construction of walls, in building soil-cement*. (IS 2110).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjo_47U1ryFAxWXfDABHQQjBdYQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.cracindia.in%2Fadmin%2Fuploads%2FIS-2110.pdf&usg=AOvVaw0hnDFzYKLaCCBoCqEGVGhH&opi=89978449

BIS. (1982). *Specification for soil based blocks used in general building construction*. (IS 1725).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewj-mpC917yFAxXIRjABHSdGCCoQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Flaw.resou>

rce.org%2Fpub%2Fin%2Fbis%2FS03%2Fis.1725.1982.pdf&usg=AOvVaw3v4XEG
BS9c9UYmHi5aI2ED&opi=89978449

BIS. (1993). *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*. (IS 13827).
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjx_6jY17yFAxWbmYQIHQn5A6QQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Flaw.resource.org%2Fpub%2Fin%2Fbis%2FS03%2Fis.13827.1993.pdf&usg=AOvVaw0fqtkO0kojMhrZ58vmgvPc&opi=89978449

Cárdenas, A., Cárdenas, X., & Sarmiento, I. (2018). *El alivianamiento en el tapial*. ASRI: Arte y Sociedad. Revista de Investigación, 14(15).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6266273>

Ceballos Salas, P. (1992). *Las construcciones en tierra en Ecuador. Innovaciones tecnológicas*. Revista INVI, 7(16). <https://doi.org/10.5354/0718-8358.1992.62012>

Cevallos Salas, P. (2015). *La construcción con tierra en Ecuador y la necesidad de la norma*. Tierra, Sociedad, Comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción Con Tierra, 2015, ISBN 978-9978-14-313-1, Págs. 631-642.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6086019>

Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo*. Informes de La Construcción, 63(523). <https://www-scopus-com.vpn.ucacue.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-80051809603&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=9ded6eb7ce739d2c298d24cfd2e624c2&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Las+normativas+de+construcci%C3%B3n+con+tierra+en+el+mundo.%29&sl=69&sessionSearchId=9ded6eb7ce739d2c298d24cfd2e624c2&relpos=0>

CID. (2021). *New México Earthen Buildings Materials Code*. (NMAC 14.7.4.).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwju9tGT07yFAxXiRTABHek-BlcQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.srca.nm.gov%2Fparts%2Ftitle14%2F14.007.0004.html&usg=AOvVaw0nVZcZgqResT1PmJwV9yp0&opi=89978449>

Construction de maison en pisé, Nicolas Meunier. (2016). Construction-Pise.fr.

<http://www.construction-pise.fr/>

DEUTSCHE NORM. (1997). *Determination of liquid and plastic of soil*. (DIN 18122).

Domínguez, C. (2023). *Construcción en tapial: Hacia una arquitectura del pasado*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/387984>

Font, F., & Hidalgo, P. (2011). *La tapia en España: Técnicas actuales y ejemplos*. *Informes de La Construcción*, 63(523). <https://www-scopus-com.vpn.ucacue.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-80051809053&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=1609cbfbcc9dfc877d1a83819b0787d3&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28La+tapia+en+Espa%C3%B1a%3A+T%C3%A9cnicas+actuales+y+ejemplos.%29&sl=64&sessionSearchId=1609cbfbcc9dfc877d1a83819b0787d3&relpos=0>

Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya.] <http://hdl.handle.net/2099.1/16141>

- González, I. (2015). *Tapiales para la construcción en Paute*. Tierra, Sociedad, Comunidad. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción Con Tierra (15° SIACOT). ISBN 978-9978-14-3131, págs. 486-491
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6086000>
- Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]
<http://hdl.handle.net/2117/107822>
- ICONTEC. (2004). *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega*. (NTC 5324).
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiiwZrb0ryFAxXXbDABHUwBCzEQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F521329136%2FNTC5324&usg=AOvVaw3qSmf0a_y07MEbwfdAP0so&opi=89978449
- INDECOPI. (1978). *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos*. (NTP 331.201).
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiUzuKr4LyFAxUcQzABHQ_OD94QFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F509637685%2FNTP-331-201&usg=AOvVaw1NuFkgv9UvC6Q3za6w4E9Q&opi=89978449
- INDECOPI. (1978). *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Métodos de ensayos*. (NTP 331.202).
- INDECOPI. (1978). *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Muestra y recepción*. (NTP 331.203).

INNORPI. (1998). *Blocs de terre comprimée ordinaires- Spécifications techniques*. (NT 21.33).

INNORPI. (1998). *Blocs de terre comprimée- Définition, classification et désignation*. (NT 21.35).

Italia. (2004). “*Disposizioni per la tutela e la valorizzazione dell’architettura rurale*”. (Ley N° 378).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj_-52f2byFAxW0mIQIHeXyBakQFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normattiva.it%2Furis-res%2FN2Ls%3Furn%3Anir%3Astato%3Alegge%3A2003%3B378&usg=AOvVaw2qrC7wWA4QaD-rZzkR_5VH&opi=89978449

Italia. Legge regionale. (2006). “*Norme per la valorizzazione delle costruzioni in terra cruda*”. (L.R. 2/06/ 2).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjC7reC2ryFAxUYSTABHYNuCKoQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.comune.alessandria.it%2Fflex%2Fcm%2Fpages%2FServeAttachment.php%2FL%2FIT%2FD%2Fwpfiles%25252Fpag_385_16%2FP%2FBLOB%253AID%253D558%2FE%2Fpdf%3Fmode%3Ddownload&usg=AOvVaw0GQIx15sVNBPlffiSdt6n9&opi=89978449

KEBS. (1999). *Specifications for stabilized soil blocks*. (KS02-1070).

Lehm Ton Erde, Martin Rauch, Vorarlberg. (2021). *Lehmtonerde.at*.

<https://www.lehmtonerde.at/de/>

Marín, A. (2021). *La pertinencia de construir con tierra en el contexto actual*. [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Madrid] <https://oa.upm.es/67717/>

Minke, G. (2001). *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, Fin de Siglo.

[https://d1.capsf.ar/wp-](https://d1.capsf.ar/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-_Gernot_Minke_-1.pdf)

[content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-](https://d1.capsf.ar/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-_Gernot_Minke_-1.pdf)

[_Gernot_Minke_-1.pdf](https://d1.capsf.ar/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-_Gernot_Minke_-1.pdf)

Neves, C., & Borges, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Proterra.

https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf

NTE INEN. (2010). *Aridos. Determinación del material as fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 um. (N° 200), mediante lavado*. (NTE INEN 0697).

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&u](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjbg07d67yFAxVOnIQIHS_-BhMQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F529992443%2F697-1&usg=AOvVaw00aSV0W56hTJxyExuXXISo&opi=89978449)

[act=8&ved=2ahUKEwjbg07d67yFAxVOnIQIHS_-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjbg07d67yFAxVOnIQIHS_-BhMQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F529992443%2F697-1&usg=AOvVaw00aSV0W56hTJxyExuXXISo&opi=89978449)

[BhMQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F5299](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjbg07d67yFAxVOnIQIHS_-BhMQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F529992443%2F697-1&usg=AOvVaw00aSV0W56hTJxyExuXXISo&opi=89978449)

[92443%2F697-1&usg=AOvVaw00aSV0W56hTJxyExuXXISo&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjbg07d67yFAxVOnIQIHS_-BhMQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fes.scribd.com%2Fdocument%2F529992443%2F697-1&usg=AOvVaw00aSV0W56hTJxyExuXXISo&opi=89978449)

NTE INEN. (1982). *Mecánica de suelos, Determinación del límite líquido* (NTE INEN 0691).

NTE INEN. (1982). *Mecánica de suelos, Determinación del límite plástico* (NTE INEN 0692).

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&u](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiahL6c7byFAxXhZTABHeHsAuwQFnoECBoQAQ&url=https)

[act=8&ved=2ahUKEwiahL6c7byFAxXhZTABHeHsAuwQFnoECBoQAQ&url=https](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiahL6c7byFAxXhZTABHeHsAuwQFnoECBoQAQ&url=https)

%3A%2F%2Farchive.org%2Fdetails%2Fec.nte.0692.1982&usg=AOvVaw1Un1wIqz
iBKb40Cn428Kku&opi=89978449

Pérez, I. (2019). *La tierra cruda como material de construcción: evolución de una técnica.*

[Trabajo de fin de grado, Universidad de Zaragoza]

<https://zaguan.unizar.es/record/84973>

Sanchis Mullor, F. (2009). *La arquitectura de tierra. Evolución a través de la historia.* [Tesis

de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia] <http://hdl.handle.net/10251/14222>

SENCICO. (2000). *Adobe.* (NTE E 0.80).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiX8_HA3ryFAxVugIQIHdw5Dj8QFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fcentrocidart.files.wordpress.com%2F2013%2F10%2Fnorma-peruana-de-adobe.pdf&usg=AOvVaw2GTOPR8Oz-Nn3qk_hI-nUR&opi=89978449

SLSI. (2009). *Specification for compressed stabilized earth blocks. Part 1. Requeriments.*

(SLS 1382-1).

SLSI. (2009). *Specification for compressed stabilized earth blocks. Part 2. Test Methods.*

(SLS 1382-2).

SLSI. (2009). *Specification for compressed stabilized earth blocks. Part 3. Guidelines on*

production, desing and construction. (SLS 1382-3).

SNZ. (1998). *Engineering design of earth buildings.* (NZS 4297).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjny4SH3byFAxUIm7AFHSj1DskQFnoECA8QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.eastue.org%2Fproject%2Flinea-adobe%2Fnorme%2FNZD4297-1998->

Engineering_Design_of_Earth_Buildings.pdf&usg=AOvVaw1AkkpaTmzjUts4WOdv
yk5K&opi=89978449

SNZ. (1998). *Materials and workmanship for earth buildings*. (NZS 4298).

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMp9XT3byFAxUxSTABHb3HDKUQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fcode.s3.amazonaws.com%2Fsupporting-docs%2FNZS4298-1998->

[Materials_and_Workmanship_For_Earth_Buildings.pdf&usg=AOvVaw3ZLnWLN
Gi4_EETQhZf3aw&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMp9XT3byFAxUxSTABHb3HDKUQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fcode.s3.amazonaws.com%2Fsupporting-docs%2FNZS4298-1998-)

SNZ. (1999). *Earth buildings not requiring specific design*. (NZS 4299).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjUo-793byFAxX_SjABHSF5D-gQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.eastue.org%2Fproject%2Flinea-adobe%2Fnorme%2FNZD4299-1998-

[Earth_Buildings_Not_Requiring_Specific_Design.pdf&usg=AOvVaw1lxRTv85fpncI
tD_BMEB6M&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjUo-793byFAxX_SjABHSF5D-gQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.eastue.org%2Fproject%2Flinea-adobe%2Fnorme%2FNZD4299-1998-)

SON. (1997) *Standard for stabilized earth bricks*. (NIS 369).

Sutter, P. (1984). *Técnicas tradicionales en tierra en la construcción de vivienda en el área andina del ecuador*. Ecuador DEBATE, 106–113.

<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/10904>

TSE. (1985). *Cement treated adobe bricks*. (TS 537).

TSE. (1997). *Adobe blocks and production methods*. (TS 2514).

TSE. (1985). *Adobe buildings and construction methods*. (TS 2515).

Von Mag, A., & Rauch, M. (2011). *Paredes de tapial y su industrialización (encofrados y sistemas de compactación)*. Informes de La Construcción, 63(523). <https://www-scopus-com.vpn.ucacue.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-80051827857&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=e18cb9dedebfa4a14ee6760f2cc531d6&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Paredes+de+tapial+y+su+industrializaci%C3%B3n%29&sl=55&sessionSearchId=e18cb9dedebfa4a14ee6760f2cc531d6&relpos=0>

Yépez, D. (2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya] <https://www.academia.edu/download/50362159/T-SENESCYT-0372.pdf>

Yravedra, A. (2020). *Martin Rauch: ¿Innovación o marketing? Estudio de la obra y técnicas de Martin Rauch en respuesta a las necesidades de la arquitectura actual*. [Proyecto de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/66803/>

ANEXOS

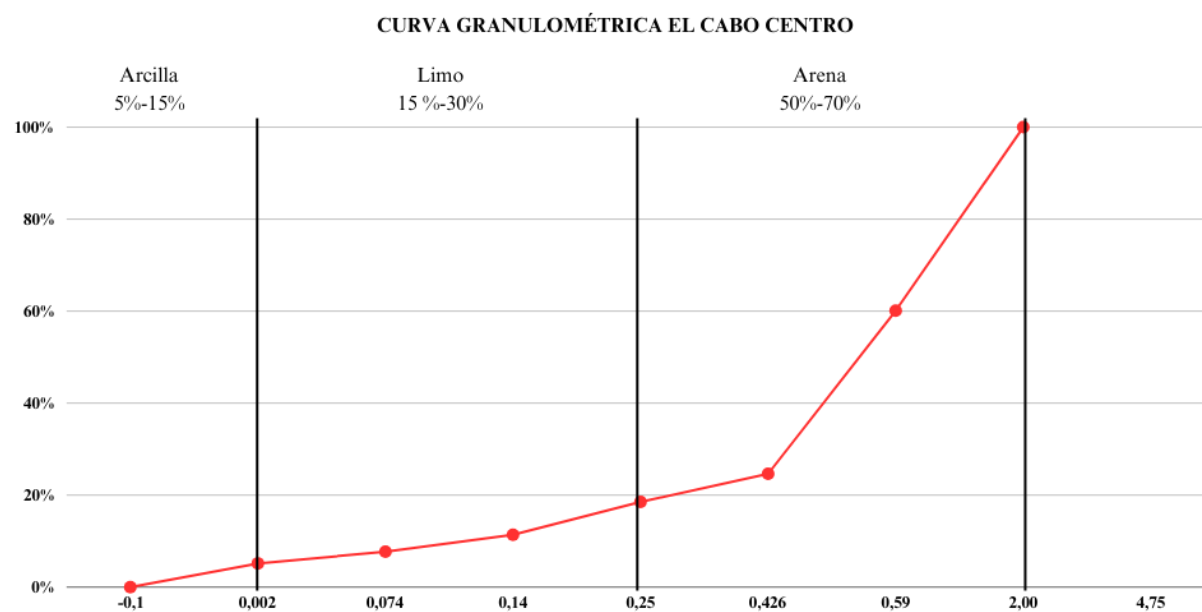
Anexo 1

Ensayo granulométrico Zona 1: El Cabo Centro

ZONA		EL CABO CENTRO					
Peso Recipiente		74,86					
Peso recip. + Peso Húmedo		577,27					
Peso recip. + Peso Seco		512,45					
Peso seco		437,59					
Tamiz	mm	Peso retenido + peso recipiente	Peso retenido	Peso Acumulado	%Retenido	%Retenido Acumulado	
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00	
N°10	2,00	249,44	174,58	174,58	39,90%	39,90%	
N°30	0,59	230,03	155,17	329,75	35,46%	75,36%	
N°40	0,426	101,72	26,86	356,61	6,14%	81,49%	
N°60	0,25	106,11	31,25	387,86	7,14%	88,64%	
N°100	0,14	90,97	16,11	403,97	3,68%	92,32%	
N°200	0,074	85,89	11,03	415	2,52%	94,84%	
FONDO	0,002		22,59	437,59	5,16%	100,00%	
TOTAL			437,59		100,00%		

Anexo 2

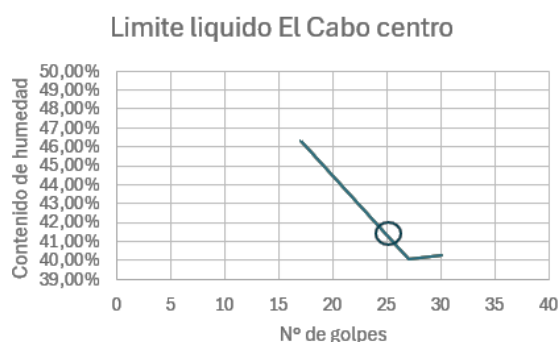
Curva granulométrica Zona 1: El Cabo Centro



Anexo 3

Ensayo Límite líquido Zona 1: El Cabo Centro

Zona EL CABO CENTRO				Método de multipuntos según Norma Alemana DIN 18122
	M1	M2	M3	
	N° recipiente	1	2	3
	N° de golpes	30	27	17
1	Peso recipiente	16,21	18,06	16,21
2	Peso recip. +suelo húmedo	34,4	36,59	29,41
3	Peso recip. + suelo seco	29,18	31,29	25,23
4	Peso del agua (2-3)	5,22	5,3	4,18
5	Peso del suelo seco (3-1)	12,97	13,23	9,02
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	40,25%	40,06%	46,34%



Anexo 4

Ensayo Límite plástico Zona 1: EL Cabo Centro

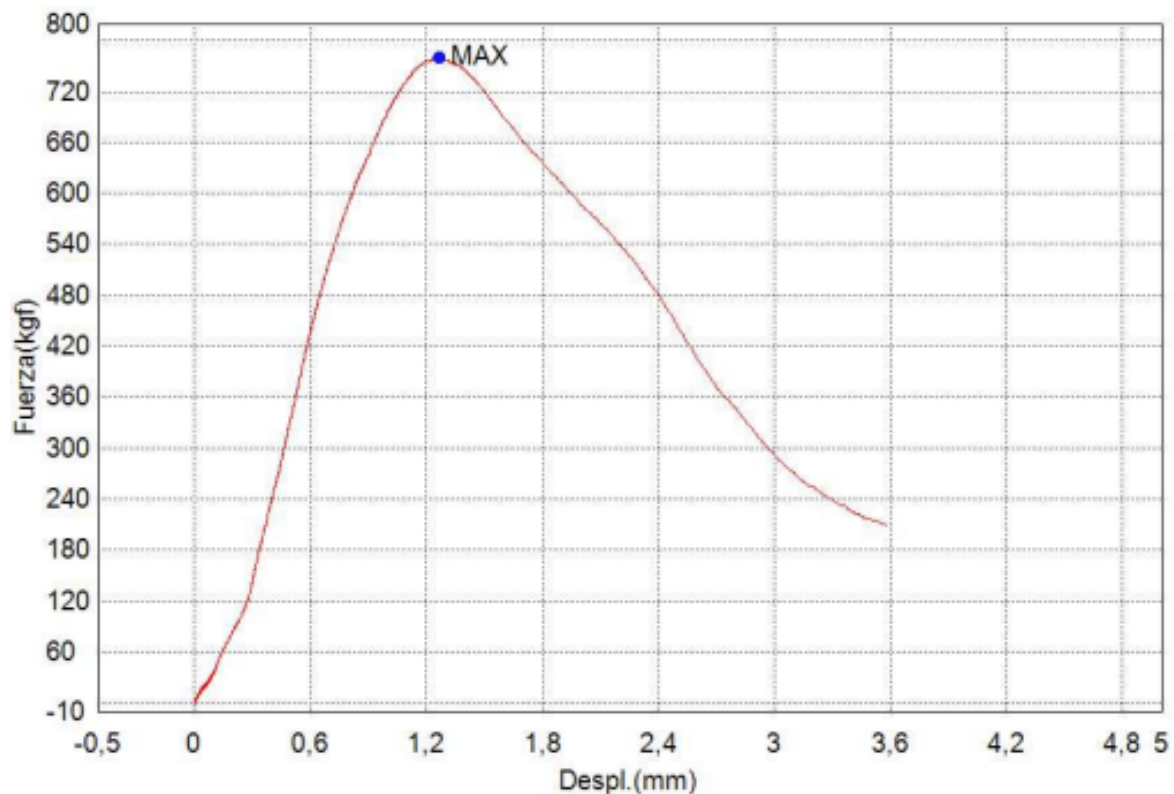
Zona EL CABO CENTRO			
	M1	M2	M3
	Prueba		
	N° recipiente	1	2
1	Peso recipiente	9,07	6,06
2	Peso recip. +suelo húmedo	14,4	14,16
3	Peso recip. + suelo seco	13,23	12,21
4	Peso del agua (2-3)	1,17	1,95
5	Peso del suelo seco (3-1)	4,16	6,15
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	28,13%	31,71%
		32,25%	

Anexo 5

Diagrama ensayo de compresión Zona 1: El Cabo Centro

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240206_1159.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	6/2/2024	Fecha de ensayo	6/2/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	759,537	30,3815	1,26363	2,52725
Media	759,537	30,3815	1,26363	2,52725
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



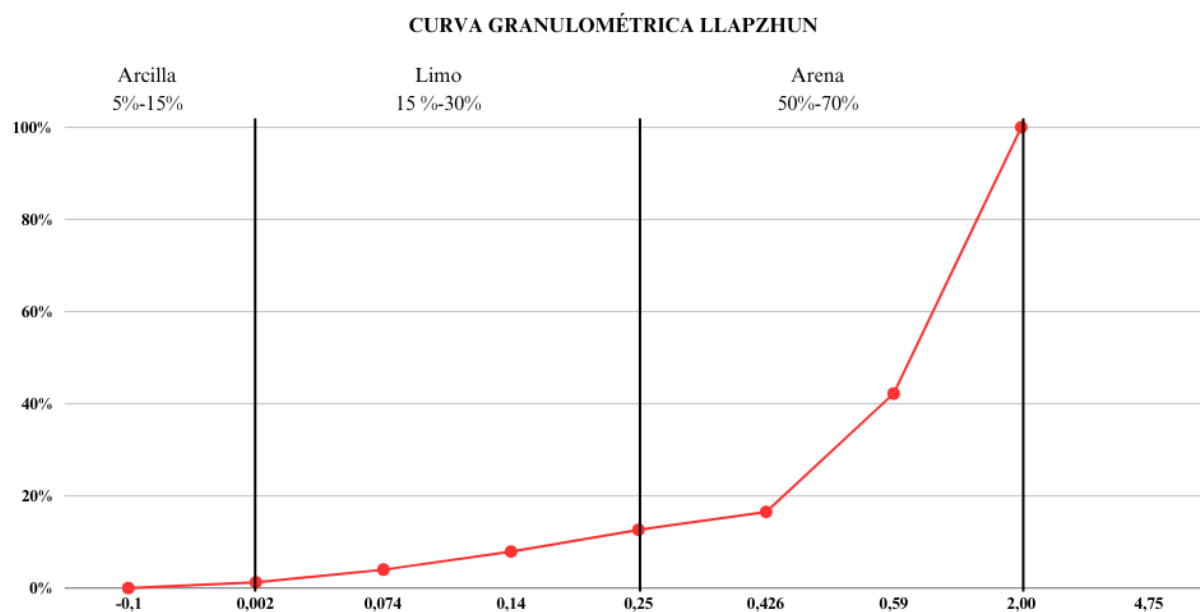
Anexo 6

Ensayo granulométrico Zona 2: Llapzhun

ZONA		LLAPZHUN					
Peso Recipiente		79,09					
Peso recip. + Peso Húmedo		580,08					
Peso recip. + Peso Seco		554,81					
Peso seco		475,72					
Tamiz	mm	Peso retenido + peso recipiente	Peso retenido	Peso Acumulado	%Retenido	%Retenido Acumulado	
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
N°10	2,00	353,91	274,82	274,82	57,77%	57,77%	
N°30	0,59	201,51	122,42	397,24	25,73%	83,50%	
N°40	0,426	97,36	18,27	415,51	3,84%	87,34%	
N°60	0,25	101,66	22,57	438,08	4,74%	92,09%	
N°100	0,14	97,74	18,65	456,73	3,92%	96,01%	
N°200	0,074	92,08	12,99	469,72	2,73%	98,74%	
FONDO	0,002		6,00	475,72	1,26%	100,00%	
TOTAL			475,72			100,00%	

Anexo 7

Curva granulométrica Zona 2: Llapzhun

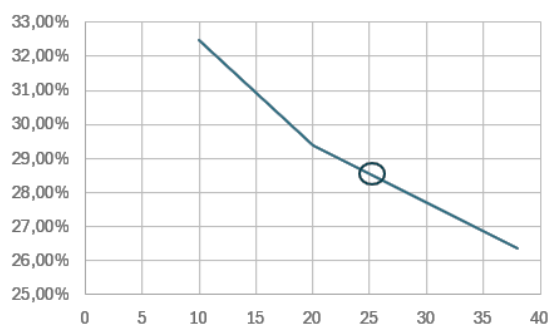


Anexo 8

Ensayo Límite líquido Zona 2: Llapzhun

Zona LLAPZHUN				Método de multipuntos según Norma Alemana DIN 18122
	M1	M2	M3	
	N° recipiente	10	11	12
	N° de golpes	38	20	10
1	Peso recipiente	18,28	18,61	16,88
2	Peso recip. +suelo húmedo	55,24	53,49	38,82
3	Peso recip. + suelo seco	47,53	45,57	33,44
4	Peso del agua (2-3)	7,71	7,92	5,38
5	Peso del suelo seco (3-1)	29,25	26,96	16,56
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	26,36%	29,38%	32,49%

Límite Líquido Llapzhun



Anexo 9

Ensayo Límite plástico Zona 2: Llapzhun

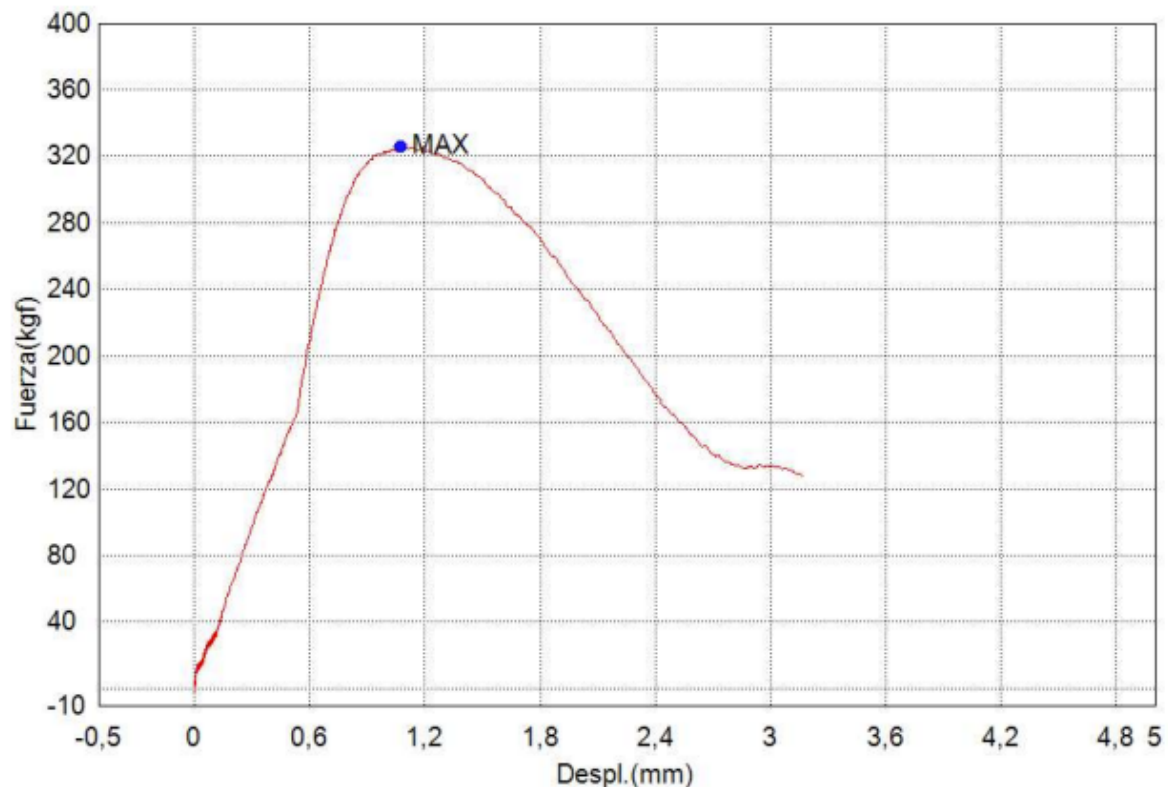
Zona LLAPZHUN				
	M1	M2	M3	
	N° recipiente	10	11	12
	N° de golpes	38	20	10
1	Peso recipiente	18,28	18,61	16,88
2	Peso recip. +suelo húmedo	55,24	53,49	38,82
3	Peso recip. + suelo seco	47,53	45,57	33,44
4	Peso del agua (2-3)	7,71	7,92	5,38
5	Peso del suelo seco (3-1)	29,25	26,96	16,56
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	26,36%	29,38%	32,49%

Anexo 10

Diagrama ensayo de compresión Zona 2: Llapzhun

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240206_1153.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	6/2/2024	Fecha de ensayo	6/2/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_ESFUERZO Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	325,618	13,0247	1,07338	2,14675
Media	325,618	13,0247	1,07338	2,14675
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



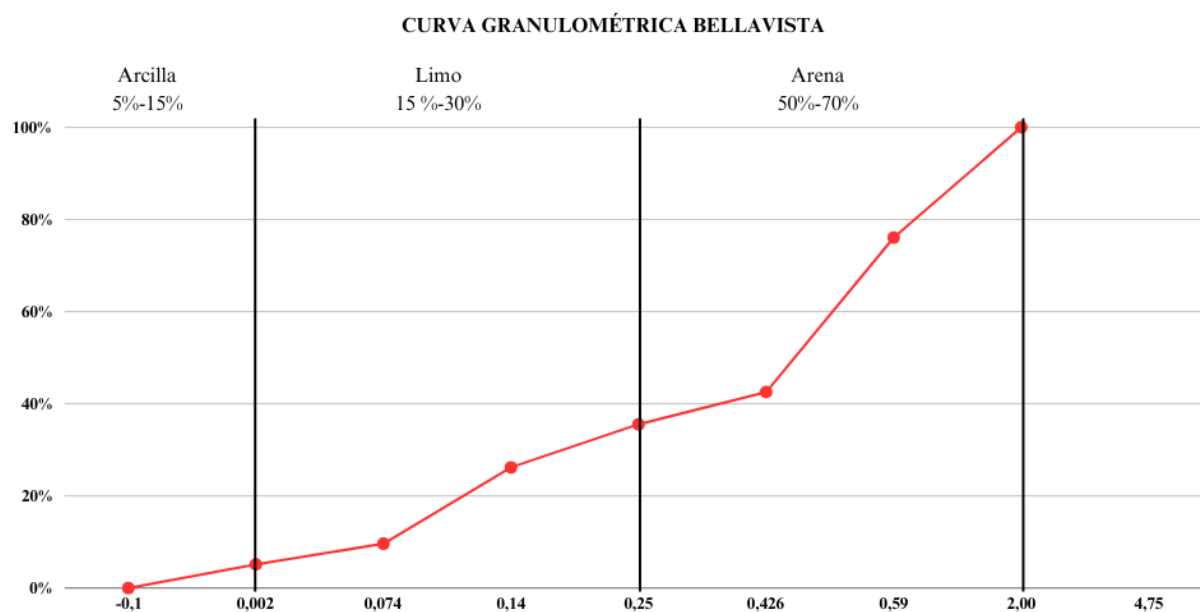
Anexo 11

Ensayo granulométrico Zona 3: Bellavista

ZONA		BELLAVISTA				
Peso Recipiente		78				
Peso recip. + Peso Húmedo		577,81				
Peso recip. + Peso Seco		573,78				
Peso seco		495,78				
Tamiz	mm	Peso retenido + peso recipiente	Peso retenido	Peso Acumulado	%Retenido	%Retenido Acumulado
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N°10	2,00	196,62	118,62	118,62	23,93%	23,93%
N°30	0,59	244,28	166,28	284,9	33,54%	57,47%
N°40	0,426	112,59	34,59	319,49	6,98%	64,44%
N°60	0,25	124,39	46,39	365,88	9,36%	73,80%
N°100	0,14	160,22	82,22	448,1	16,58%	90,38%
N°200	0,074	100,28	22,28	470,38	4,49%	94,88%
FONDO	0,002		25,4	495,78	5,12%	100,00%
TOTAL			495,78		100,00%	

Anexo 12

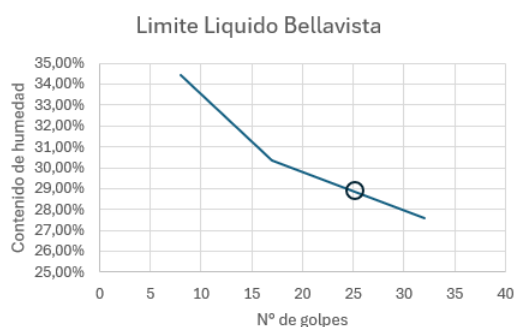
Curva granulométrica Zona 3: Bellavista



Anexo 13

Ensayo Límite líquido Zona 3: Bellavista

Zona BELLAVISTA				Método de multipuntos según Norma Alemana DIN 18122
	M1	M2	M3	
	Nº recipiente	4	5	6
	Nº de golpes	32	17	8
1	Peso recipiente	17,85	18,29	16,93
2	Peso recip. +suelo húmedo	42,78	49,72	40,95
3	Peso recip. + suelo seco	37,39	42,4	34,8
4	Peso del agua (2- 3)	5,39	7,32	6,15
5	Peso del suelo seco (3-1)	19,54	24,11	17,87
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	27,58%	30,36%	34,42%



Anexo 14

Ensayo límite plástico Zona 3: Bellavista

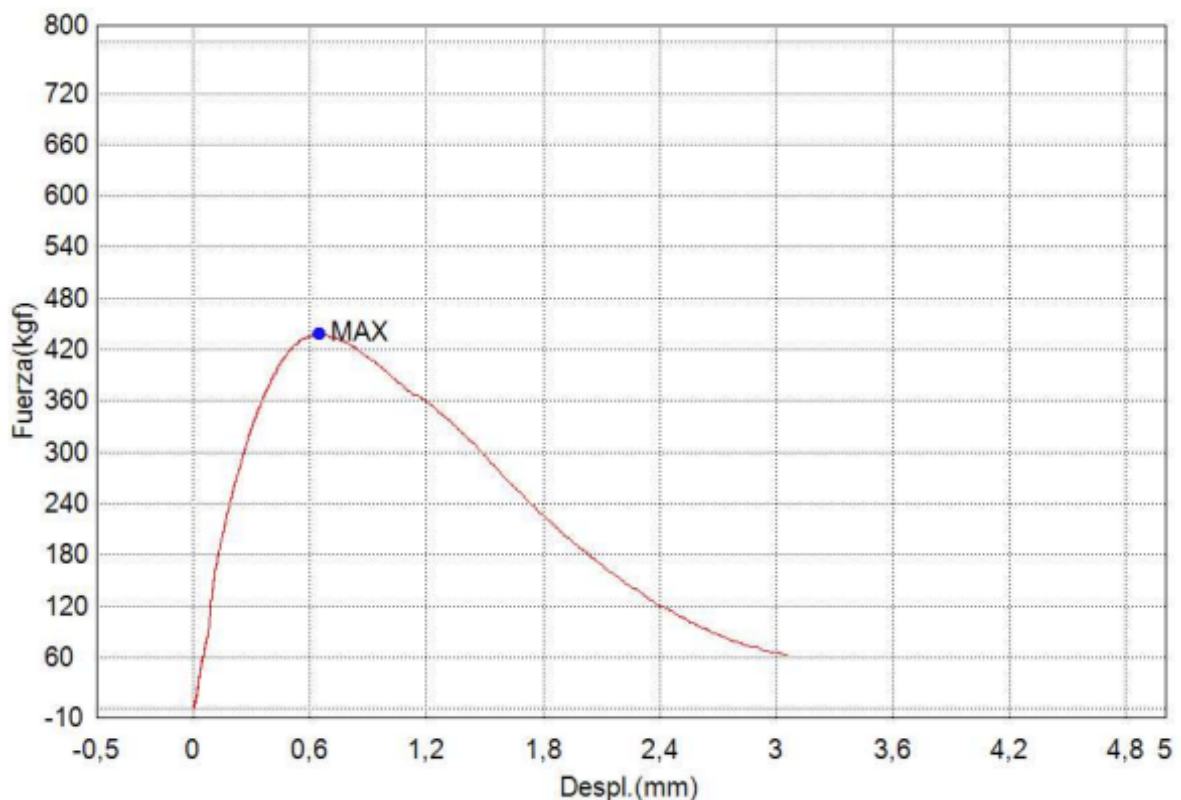
Zona BELLAVISTA				
	M1	M2	M3	
	Nº recipiente	1	2	3
1	Peso recipiente	6,07	6,21	6,28
2	Peso recip. +suelo húmedo	13,59	13,05	15,93
3	Peso recip. + suelo seco	12,12	11,61	13,81
4	Peso del agua (2- 3)	1,47	1,44	2,12
5	Peso del suelo seco (3-1)	6,05	5,4	7,53
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	24,30%	26,67%	28,15%

Anexo 15

Diagrama ensayo de compresión Zona 3: Bellavista

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240206_1203.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	6/2/2024	Fecha de ensayo	6/2/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._ESFUERZO Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	438,814	17,5526	0,64763	1,29525
Media	438,814	17,5526	0,64763	1,29525
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



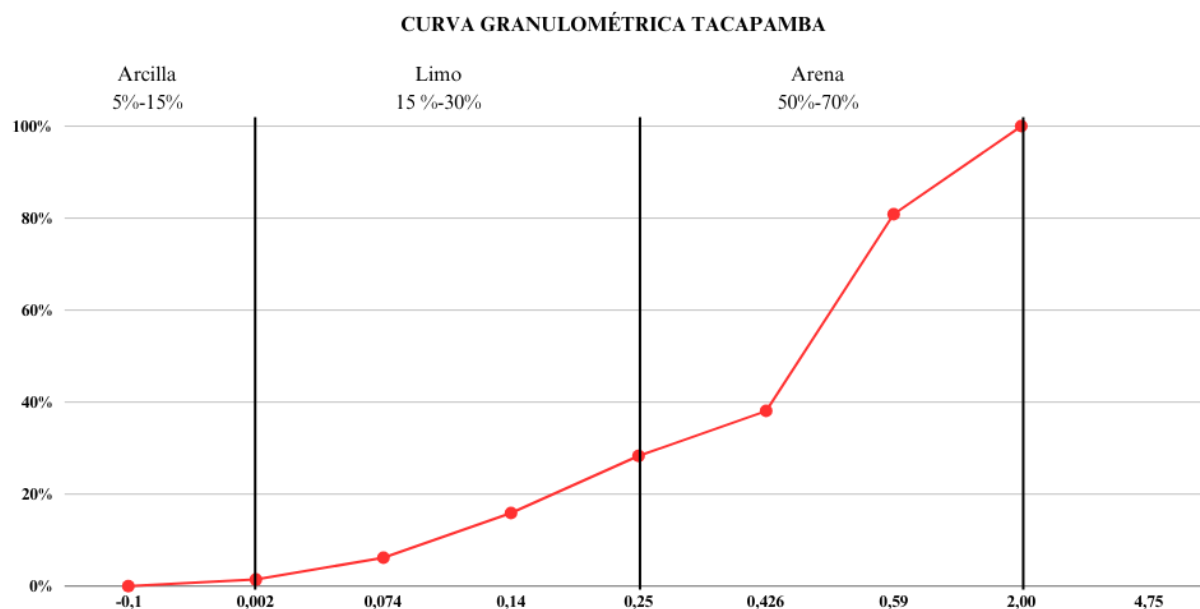
Anexo 16

Ensayo granulométrico Zona 4: Tacapamba

ZONA		TACAPAMBA					
Peso Recipiente		80,51					
Peso recip. + Peso Húmedo		581,09					
Peso recip. + Peso Seco		523,68					
Peso seco		443,17					
Tamiz	mm	Peso retenido + peso recipiente	Peso retenido	Peso Acumulado	%Retenido	%Retenido Acumulado	
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
N°10	2,00	165,37	84,86	84,86	19,15%	19,15%	
N°30	0,59	270,08	189,57	274,43	42,78%	61,92%	
N°40	0,426	123,8	43,29	317,72	9,77%	71,69%	
N°60	0,25	135,49	54,98	372,7	12,41%	84,10%	
N°100	0,14	123,58	43,07	415,77	9,72%	93,82%	
N°200	0,074	101,59	21,08	436,85	4,76%	98,57%	
FONDO	0,002		6,32	443,17	1,43%	100,00%	
TOTAL			443,17		100,00%		

Anexo 17

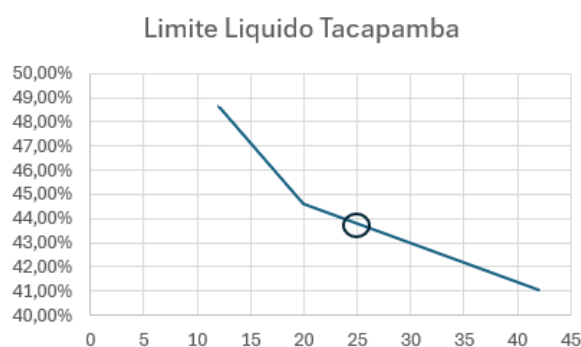
Curva granulométrica Zona 4: Tacapamba



Anexo 18

Ensayo Límite líquido Zona 4: Tacapamba

Zona TACAPAMBA				Método de multipuntos según Norma Alemana DIN 18122
	M1	M2	M3	
	N° recipiente	7	8	9
	N° de golpes	42	20	12
1	Peso recipiente	17,13	17,57	15,97
2	Peso recip. +suelo húmedo	52,66	42,08	36,69
3	Peso recip. + suelo seco	42,32	34,52	29,91
4	Peso del agua (2-3)	10,34	7,56	6,78
5	Peso del suelo seco (3-1)	25,19	16,95	13,94
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	41,05%	44,60%	48,64%



Anexo 19

Ensayo Límite plástico Zona 4: Tacapamba

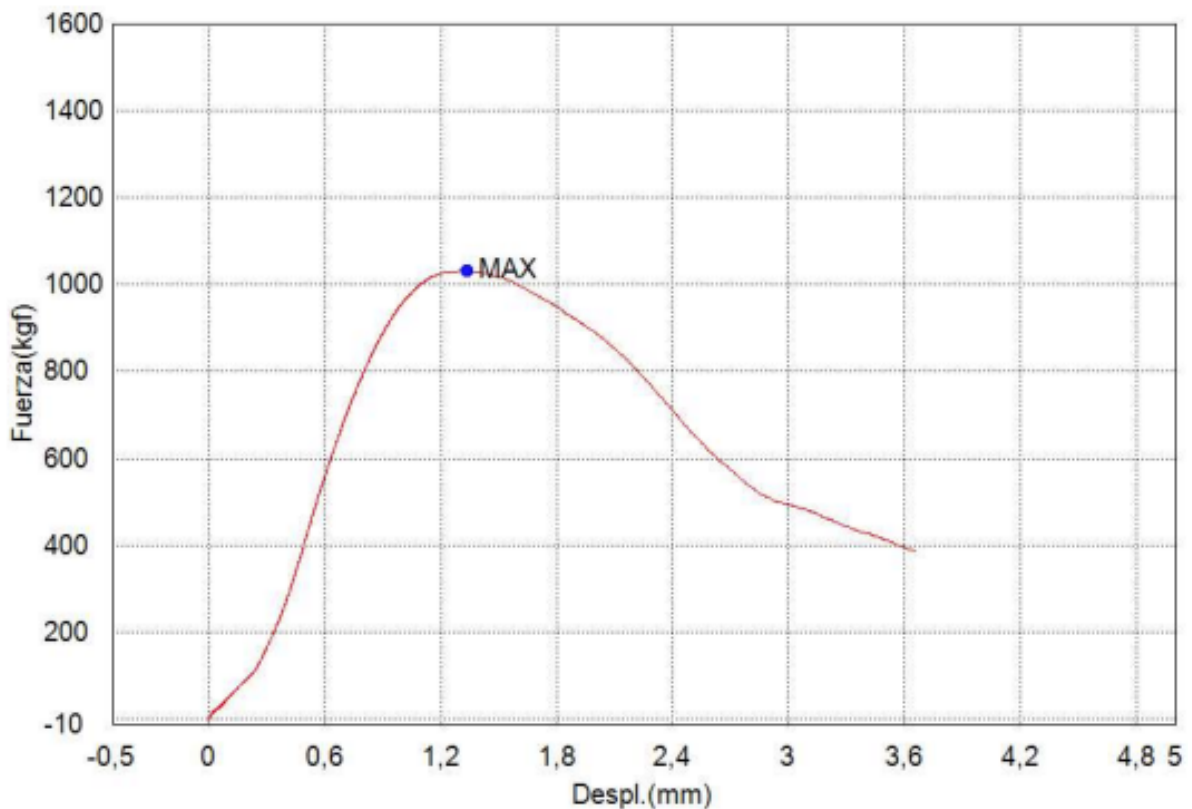
Zona TACAPAMBA				
	M1	M2	M3	
	N° recipiente	1	2	3
1	Peso recipiente	8,88	8,97	6,25
2	Peso recip. +suelo húmedo	14,95	15,68	14,72
3	Peso recip. + suelo seco	13,47	13,99	12,35
4	Peso del agua (2-3)	1,48	1,69	2,37
5	Peso del suelo seco (3-1)	4,59	5,02	6,1
6	Contenido de Humedad % (4/5) *100	32,24%	33,67%	38,85%

Anexo 20

Diagrama ensayo de compresión Zona 4: Tacapamba

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240206_1208.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	6/2/2024	Fecha de ensayo	6/2/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

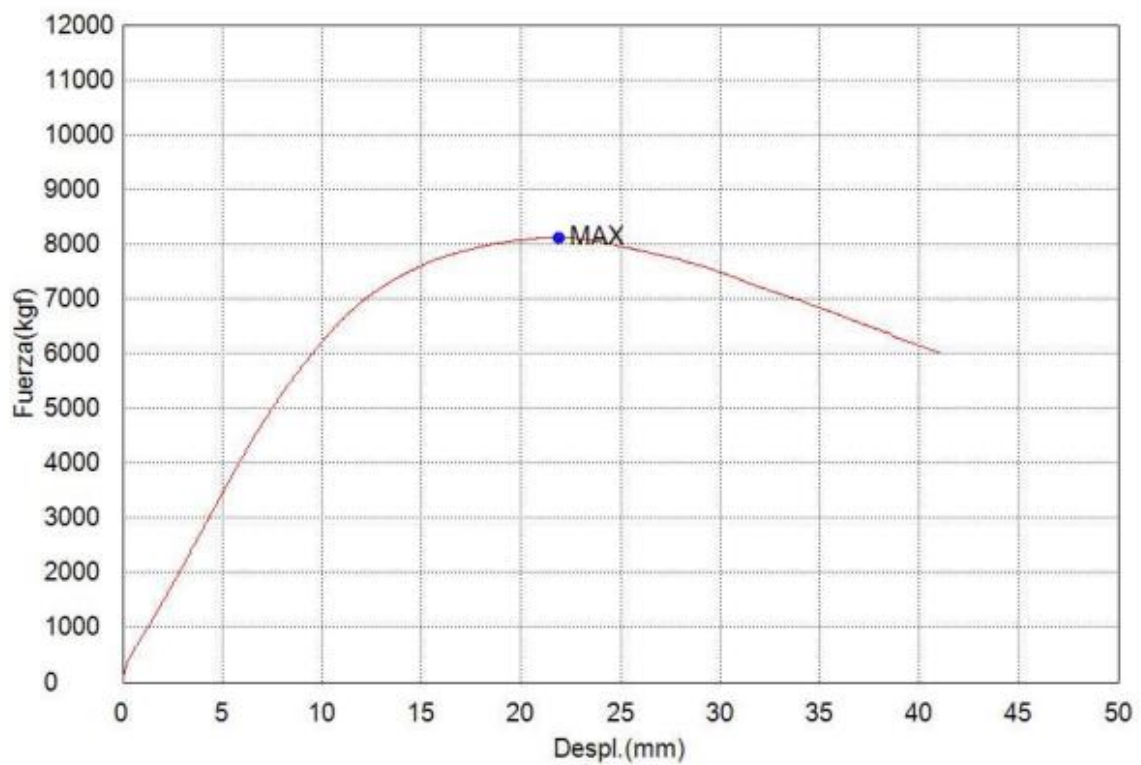
Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1031,47	41,2590	1,33175	2,66350
Media	1031,47	41,2590	1,33175	2,66350
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Anexo 21

Diagrama ensayo de compresión Diseño 1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	8120	8,16
Media	8120	8,16
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000

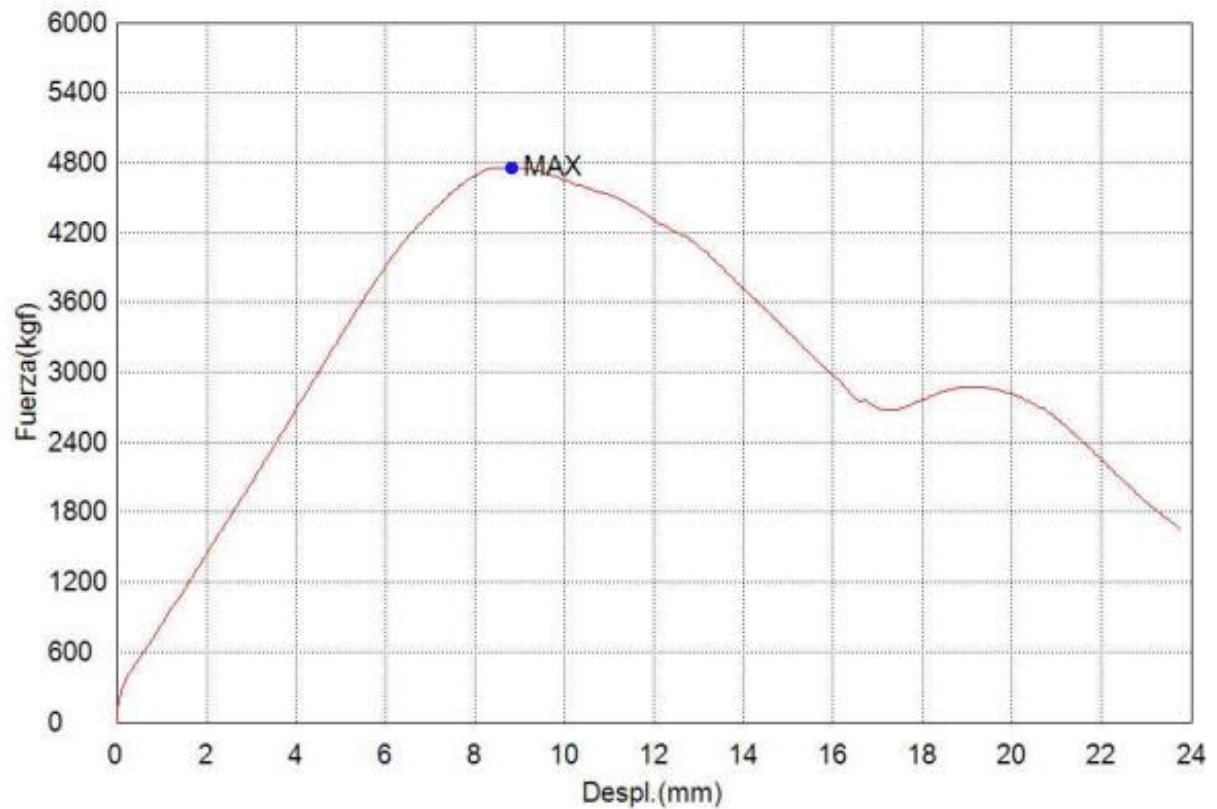


Anexo 22

Diagrama ensayo de compresión Diseño 2

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240319_1018.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	19/3/2024	Fecha de ensayo	19/3/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas	Max. Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	4760	8,59
Media	4760	8,59
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000

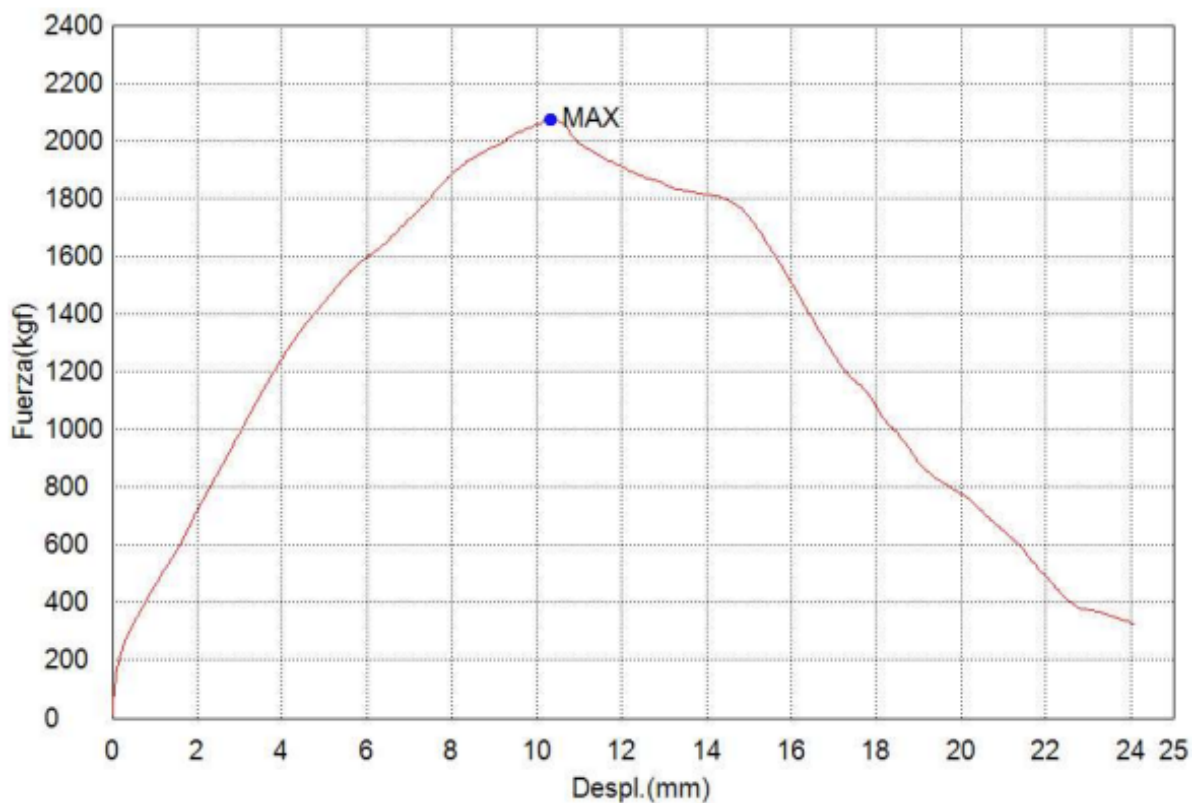


Anexo 23

Diagrama ensayo de compresión Diseño 3

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240319_1034.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	19/3/2024	Fecha de ensayo	19/3/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2070	3,22
Media	2070	3,22
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000





Daniela Isabel Guachun Acebedo portadora de la cédula de ciudadanía N° **0302491832**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Prototipo de tapial prefabricado alivianado adaptado a las características del suelo de la parroquia El Cabo”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 05 de junio de 2024

F:

Daniela Isabel Guachun Acebedo

C.I. 0302491832