

## EL ALIVIANAMIENTO EN EL TAPIAL

### THE ALIVIANATION IN THE RAMMED EARTH

Andrés Alejandro Cárdenas Álvarez, Xavier Ricardo Cárdenas Haro y Julio Ismael Sarmiento Avilés  
Universidad de Cuenca

Recibido: 11 de julio de 2017  
Aceptado: 24 de noviembre de 2017

#### Resumen:

*La tierra apisonada o tapial como lo denominan, es una práctica vernácula heredada y desarrollada, especialmente, en las zonas templadas y frías de Latinoamérica. En esta investigación abordamos, en primer lugar, la determinación de la tierra adecuada para la construcción de tapias tradicionales; luego de la selección del material adecuado, comparamos con 9 variaciones con el propósito de reducir el peso y determinar su comportamiento. Finalmente, según los resultados, proponemos el rescate de la técnica del tapial con el alivianamiento de muros y nuevo elementos para ahorrar material.*

**Palabras clave:** tapial, tapia, tierra apisonada, alivianamiento, muros

#### Abstract:

*The rammed earth or rammed earth walls as it is called in Latin America, is a vernacular practice inherited and developed especially in temperate and cold zones. The research begins with the revision of global standards on rammed earth and soil determination suitable for use in the construction of rammed earth walls using ancestral techniques and scientific laboratory tests. The analysis of the mechanical and physical properties of the materials allowed to select a suitable material to elaborate the traditional rammed earth and to compare it with 9 variations that we experimented with the purpose of reducing the weight of the material and to determine the behavior of the same. The results offer a clear comparison between ancestral trials and scientific methods, which allow advance in an innovative proposal to rescue the rammed earth technique with a saving of material, proposing the lightening of the walls with the combination of new materials.*

**Keywords:** tapial, unstabilized, Rammed Earth, alivianation, Walls

\* \* \* \* \*

## 1. Introducción y contexto

### 1.1 Estado de la construcción en tierra y el tapial

La tierra cruda es un material ampliamente usado en la construcción, tanto en las ciudades históricas, como en las zonas rurales. A nivel mundial el 33% de la población mundial vive en edificaciones de tierra, de hecho, en países en vías de desarrollo esta cifra aumenta a más de la mitad de su población<sup>1</sup>. La tierra cruda es un recurso natural para hacer espacios habitables eficientes, dotada de propiedades únicas aún por descubrir.

Existe evidencia de ciudades enteras moldeadas con tierra cruda alrededor del mundo, tal es el caso de Jericó en Palestina; Catal Hüyük en Turquía; Harappa en Pakistán; Akhet-Anton en Egipto; Chan Chan o Caral en Perú; Babilonia en Iraq; Zuheros en España, entre otros ejemplos, de grandes edificaciones, que según Easton (2007) [citado por Gernot Minke], con el paso del tiempo, fueron reemplazadas por materiales como el ladrillo cocido.

En la actualidad, tanto la metodología de diseño y construcción como la de la construcción de la tierra, han experimentado notables transformaciones; avances en la estabilización química de materiales, refuerzo estructural, control de humedad, aislamiento térmico y muchos otros aspectos que lo han hecho técnicamente disponible para casi todas las condiciones geográficas<sup>2</sup>

No es una sorpresa mirar obras patrimoniales habitables como Fujian Tulou, declarado patrimonio cultural por la UNESCO ( Figura 2), que data del siglo XII, ubicada en China, compuesta por conjuntos habitacionales, elaborados a base de tapial, con paredes circulares que alcanzan hasta 30 metros.

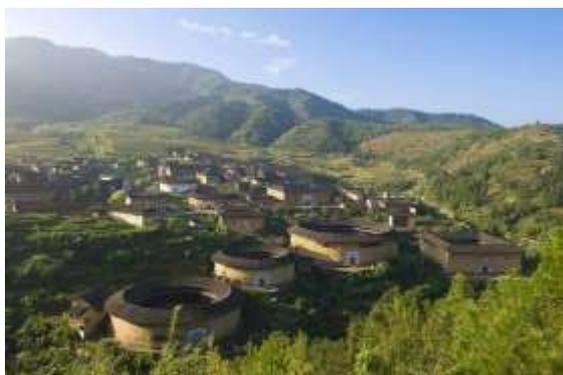


Figura 1: S/f. Conjunto de Fujian Tulou

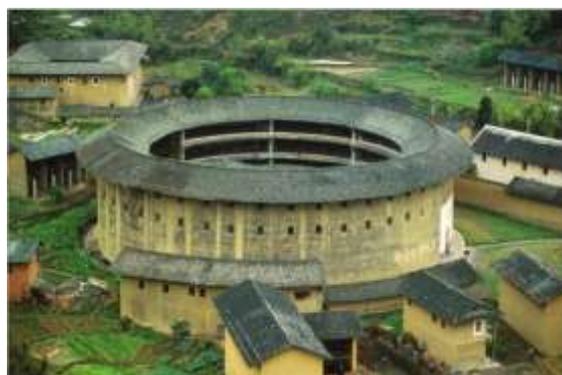


Figura 2: S/f. Fujian Tulou.

### 1.2 El tapial contemporáneo

Con el paso del tiempo, la construcción con tierra ha ido ganando terreno; poco a poco, más arquitectos se interesan por la construcción con este material. La tierra se ha convertido en un recurso valorado por muchos, por su tradición constructiva y por las

<sup>1</sup> MINKE, Gernot. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Kassel. 2006.

<sup>2</sup> MINKE, Gernot. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel, Berlin. 2005.

características saludables que posee. Según Fabio Gatti<sup>3</sup> (2012), la construcción es uno de los principales sectores en producir la mayor cantidad de residuos, los materiales más usados en la actualidad son el acero, el hormigón, el ladrillo de tierra cocida, entre otros, y demandan grandes cantidades de energía para su producción; además, contaminan el medio ambiente, en comparación con la tierra apisonada que, generalmente, no necesita transporte, es de poco impacto ambiental y, cien por ciento reciclable.

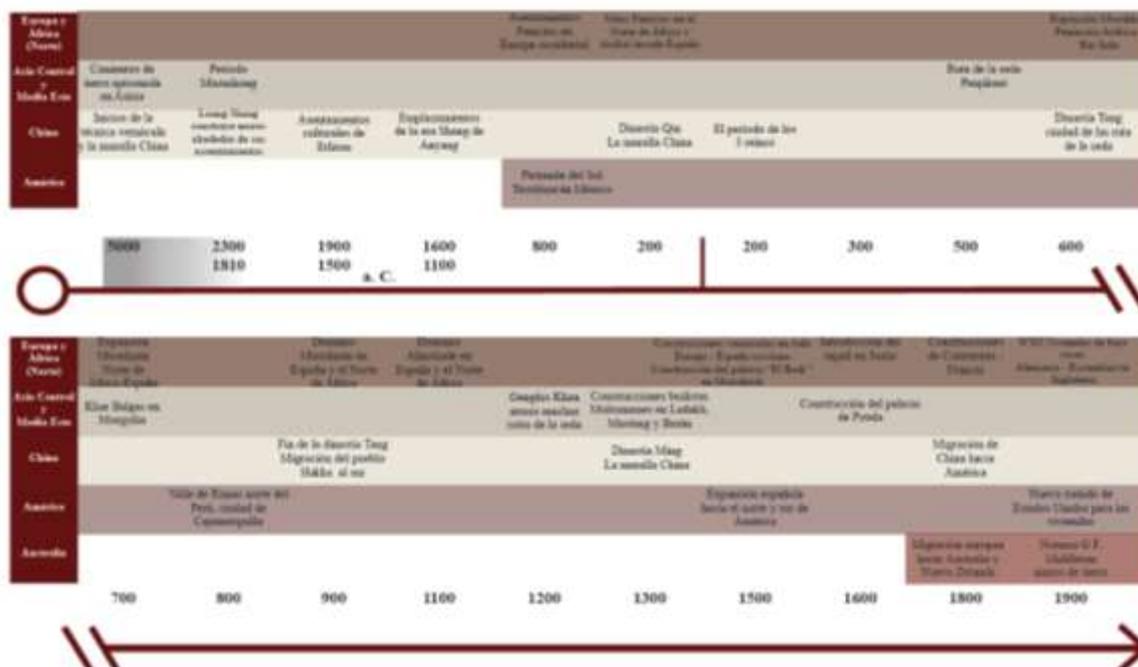


Figura 3: Línea del tiempo del Tapial. (2017). Fuente: propia.

Muchas investigaciones optaron por un giro repentino hacia las técnicas tradicionales para redescubrir su potencial<sup>4</sup>. Así pues, se iniciaron numerosas construcciones, alrededor del mundo, en países como: Alemania, Suiza, Estados Unidos, Francia, España, entre otros.

Durante este proceso de investigación, nos dimos cuenta que la técnica vernácula del tapial, como la conocíamos, es solo una base frente a los innumerables temas de investigación que se pueden llevar a cabo. Hoy en día, se puede hablar de tierra ya como parte de la arquitectura contemporánea. En este contexto, es importante preguntarse, cómo puede la tierra apisonada seguir actualizándose frente a otras técnicas de construcción en constante evolución. La respuesta indica que el tapial debe adaptarse en la era moderna, sin embargo, el mayor reto de un arquitecto radica en convencer a la gente de confiar nuevamente en el tapial y en los beneficios que nos puede ofrecer.

<sup>3</sup> GATTI, Fabio. “Arquitectura Y Construcción En Tierra: Estudio Comparativo de Las Técnicas Contemporáneas En Tierra” En: <Http://mastersuniversitaris.ups.edu/tecnologiaarquitectura >.

<sup>4</sup> MINKE, Gernot. 2010. *Manual de Construcción En Tierra : La Tierra Como Material de Construcción Y Su Aplicación En La Arquitectura Actual*. Montevideo: Fin de siglo.

## 2. Factores que intervienen en la elaboración del tapial

### 2.1 Documentos

En los últimos 70 años una serie de documentos, recomendaciones y normas en base a la construcción en tapial han sido publicados en países como: Australia, Alemania, Nueva Zelanda, España, Estados Unidos, Zimbabue, Reino Unido, Francia, Brasil, Perú y otros países. Silva, Rui A Oliveira, Daniel V. Miranda, Tiago F. Escobar y M Carolina. Cristelo los dividen en 3 grupos para entender mejor:

El grupo I corresponde a las regularizaciones y estándares; el grupo II a los documentos normativos como reglas y guías; finalmente, el grupo III pertenece a aspectos técnicos publicados en las bibliografías generales sobre la construcción en tierra. Todos estos consideran detalles particulares para la construcción, así como, diversos ensayos empíricos en laboratorio de tipo físico y mecánico. (Tabla 1)

**Tabla 1:** Lista de los documentos más importantes sobre el tapial (2007). Fuente: Propia.

Año	Grupo	País	Siglas o Autor/es
1998	Regularizaciones y estándares	Nueva Zelanda	NZS 4298
2001		Zimbabue	SAZS 724
2004		Estados Unidos	NMAC, 14.7.4
2017		Perú	E 0.80
1970	Normativa	España	PIET 70
1971		España	IETCC
1996		España	MOPT
2000		Alemania	Lehmbau Regeln
2002		Australia	Walker and standards Australia
1948	Documentos técnicos	Nueva Zelanda	Alley
1953		Australia	Gomes and Folque
1994		Francia	Houben and Guiland
1970		Estados Unidos	OIA
1979		Francia	Doat et al (Craterre)
1981		Australia	Shrader
1984		Estados Unidos	McHenry
1996		Reino Unido	Keable
1996		Australia	Radonovic
1997		Reino Unido	Norton
2005		Reino Unido	Keefe
2005		Reino Unido	Walker
2009		Latino america	Red proterra

Nota: clasificación mediante guías ISO.

## 2.2 Ensayos

Con el fin de analizar las características de la tierra se realizaron ensayos en campo y en laboratorio para determinar de una forma rápida y casi exacta, las características del material con el que se va a trabajar. Según Gernol Minke<sup>5</sup> los ensayos de campo son lo suficientemente exactos como para estimar la composición de la tierra y la estabilidad de la mezcla para una aplicación específica.



**Figura 4:** Recopilación de fotografías de ensayos realizados en laboratorio, (2017) Fuente: propia.

### 2.2.1 Ensayos empíricos

Se los conoce también con el término de pruebas ancestrales, pues son técnicas que han pasado de generación en generación. Los ensayos se realizan en campo para determinar ciertas propiedades para la elección del material y la fabricación del tapial. Sobre esto, dependeremos de la experticia y experiencia de la persona que los realiza, así como, del grado de certeza con respecto a ensayos técnicos de laboratorio.

Durante la etapa de análisis del suelo pudimos realizar todas las pruebas empíricas (Tabla 2), lo cual permitió tener un primer acercamiento al tipo de suelo con el que íbamos a trabajar.

**Tabla 2:** Resumen de pruebas empíricas realizadas. (2007) Fuente: propia.

Ensayo o Prueba	Resultado	Tipo de suelo
Olor	Tierra inodora	inorgánico
Mordedura	Sensación desagradable	arenoso
Color	Suelo de color claro	inorgánico
Lavado de manos	Sensación de partículas y fácil de quitar de las manos	arenoso
Sedimentación	Gran cantidad de arenas frente a limos y arcillas	arenoso
Brillo	No presenta brillo	arenoso

<sup>5</sup> MINKE, *Manual de Construcción En Tierra...*

Cinta	Muestra se rompió a menos de 5cm	de baja plasticidad
Pastilla	Al presionar la muestra se quebró con facilidad	arenoso
Bolita	Determinación de humedad óptima	arenoso

### 2.2.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio físico y mecánicos sirven para la caracterización geotécnica de un suelo y, la determinación de propiedades de los elementos a estudiarse. Para conseguir el objetivo planteado, se utilizaron las normas de la *American Society Testing Materials* (ASTM) o *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) para las pruebas físicas de lavado de finos, granulometría, límites de Atterberg y humedad (Tabla 3). Los requerimientos mínimos para realizar estos ensayos y el éxito de los resultados, dependen de los espacios, el correcto manejo y almacenaje de muestras, que se tenga en el laboratorio y, finalmente, de un buen mantenimiento y calibración de los equipos.

En cuanto a los ensayos mecánicos (compresión y flexión) cabe recalcar que no existen normas que especifiquen la ruptura de muestras en tierra. Por esta razón, nos basamos en las normas para el hormigón, para poder tener los valores más cercanos a la realidad, con ajustes en la velocidad de la prensa, para garantizar resultados fiables ya que las muestras son muy sensibles a cualquier variación brusca.

**Tabla 3:** Normas utilizadas en ensayos físicos (2017). Fuente: propia.

Ensayo	Norma utilizada
Ensayo normalizado para materiales más finos que una criba No. 200 (75 µm) en agregados minerales mediante lavado	ASTM C117 – 03
Granulometría	ASTM D-422-63 / AASHTO T 88
Límite líquido	ASTM D4318 / AASHTO T 89
Límite plástico	ASTM D4318 / AASHTO T 90
Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa	ASTM 2216
Densidad de solidos	ASTM C 188-95 / Le Chatelier
Proctor estándar	ASTM D698

## 3. Metodología

### 3.1 Introducción

El programa de ensayos consistió en cinco partes:

- 1) Revisión histórica de algunas obras, prácticas elaboradas por los constructores empíricos y actuales de la técnica, para evidenciar particularidades.
- 2) Conocimiento de las propiedades mecánicas y físicas de la tierra seleccionada mediante algunos test de campo y laboratorio.
- 3) Revisión de las normas, selección del número de muestras y tamaños sugeridas por las normativas internacionales relevantes de: Zimbabue, Nuevo México, Australia España,

más tres prototipos a escala, propios de la investigación, para determinar su resistencia a la compresión en diferentes formas, después de un secado de 28 días, usando el mismo método de elaboración; y, finalmente, secado de las muestras de acuerdo a las condiciones reales de construcción y secado in situ.

- 4) Elaboración de 6 muestras de cada tipo propuesto para llegar al objetivo de la investigación, experimentando con diferentes materiales y formas para el alivianamiento.
- 5) La última etapa, elaboración de 4 muretes del tapial normal sin estabilizantes para conocer las características de resistencia a la compresión como la tracción diagonal y compresión normal.

### 3.2 Suelo

La tierra natural para la elaboración de los ejemplos fue extraída en la provincia del Azuay, cantón Paute, por ser el lugar con mayor cantidad de obras en pie elaboradas con tapial, sin agregar ninguna clase de estabilizante. Sin embargo, recomendamos la utilización de tierra de otras zonas siempre y cuando se realicen los ensayos correspondientes.

### 3.3 Tapialeras y tapiales

Al no contar en el Ecuador con una normativa que sugiera el tamaño de muestra para ensayos en laboratorio, decidimos optar por ensayar modelos particulares, escalando entre una tapialera o molde usado en la realidad ecuatoriana; y tomar las sugerencias de la normativa internacional. Al final del proceso obtuvimos un modelo que se aproxima a los resultados experimentados de resistencia a la compresión sin variaciones significativas (ver Tabla 4).

Luego de los ensayos correspondientes se optó por tomar la tapialera de 30 x 30 x 15 cm, como referente para la investigación. Esta fue construida con dos tablonces de 4 cm de espesor y tablas laterales para el confinamiento, unidas por medio de 4 pernos número de 3/4" (Figura 5). El proceso de secado fue de 28 días simulando las condiciones normales de construcción (Figura 6).

**Tabla 4:** Dimensiones de los tapiales para los ensayos. (2017) Fuente: propia.

Año	País	Nombre	Detalles de la muestra (mm)					N° de muestras recomendado
			Cilindro		Polígono			
			D	h	l	a	h	
1992	España	MOPT	n/a	n/a	50	50	50	6
2004	Estados Unidos	2015 New Mexico earthen building materials code	n/a	n/a	102 (4")	102 (4")	102 (4")	4
2017	Ecuador	Forma 1			200	150	100	4
		Forma 2			300	150	150	4
		Forma 3	100	200				4

**Nota:** D: Diámetro del cilindro, h: altura, l: largo, a: ancho, n/a: no disponible



**Figura 5:** Tapialera utilizada para ensayos, Ecuador. Fuente: Propia



**Figura 6:** Muestras de tapial realizadas Fuente: Propia

### 3.4 Formas, materiales y tamaños de las muestras experimentadas

Para la investigación usamos 10 modelos diferentes, con 6 muestras por cada tipo, cada una con la misma tierra base, en las cuales fueron adicionados materiales como espuma flex o poliestireno expandido (EPS), policloruro de vinilo (PVC), cabuya y estabilizante SIKA, en diferentes proporciones y formas. Así, de las 6 muestras se ensayaron 4 a compresión y 2 a flexión (ver Tabla 5).

### 3.5. Comparación de normas en resistencias a la compresión

A nivel del mundo existes diferentes sugerencias para elaborar las muestras para determinar la resistencia a la compresión de los ejemplos para tapial (ver Tabla 6).

**Tabla 5:** Cuadro resumen de las especificaciones y formas de los tapiales a ensayar. Fuente: propia.

Nombre	Tapial normal	Tapial con 12 esferas	Tapial con 2 esferas	Tapial mas poligono	Tapial con perlas	Tapial con 16 esferas	Tapial con agujeros horizontales	Tapial con agujeros verticales	Tapial con agujeros horizontales mas cabuya	Tapial con Sika poro plus
Especificaciones de los materiales adicionales para cada unidad		Utiliza 12 esferas de (EPS) distribuido en 2 capas $\phi = 40mm$	Utiliza 2 esferas de (EPS) distribuido en 1 capa $\phi = 70mm$	Utiliza 1 poligono de poliestireno expandido $l = 170mm$ $a = 60mm$ $h = 80mm$	Utiliza el 18 % de perlas de (EPS) $\phi = 2-4mm$	Utiliza 16 esferas de (EPS) distribuido en 2 capas $\phi = 40mm$	Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal $l = 150mm$ $\phi = 50mm$	Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal $l = 150mm$ $\phi = 50mm$	Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal $l = 150mm$ $\phi = 25mm$ cabuya = 50g	Usa 5 ml del aditivo
Materiales		Poliestireno expandido (EPS)			Policloruro de vinilo (PVC)		(PVC)+ Cabuya		Sika poro plus	
AASHTO		A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa								
SUCS		Arena limosa SM								
Volumen		$(l = 30cm * a = 15cm * h = 15cm) = 6750 cm^3$								
Planta										
Elevación lateral										
Elevación frontal										
Axonometría										
*Humedad inicial	42%	45%	45%	43%	43%	41%	41%	39%	39%	45%
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

NOTA: Fueron realizados 6 muestras por cada tipo propuesto.

\* la humedad se refiere a la del peso seco es un promedio de las 6 muestras y fue calculado con la norma ASTM 2216, largo = l, ancho = a, altura = h.

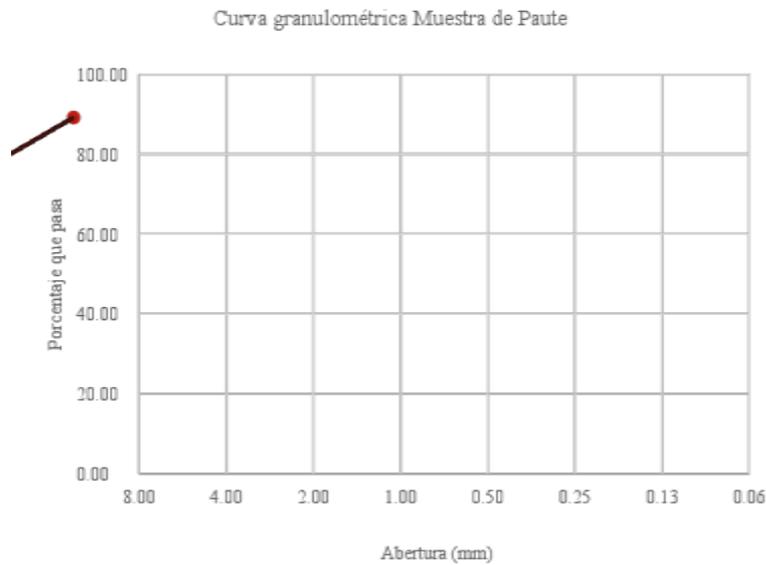
**Tabla 6:** Detalles comparativos entre diferentes normas para ensayos de resistencia a la compresión. Fuente: propia.

Año	País	Nombre	Fuerza a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	Días de secado	Detalles de la muestra (mm)					# muestras	Observaciones
					Cilindro		Polígono				
					D	h	l	a	h		
1992	Australia	G. F. Midletown	0.7		150	110	150	1.3 x h	150	5	
2002	Australia	Standards Australia	0.4-0.6		150	300	n/a	n/a	n/a	1/25-100 m <sup>2</sup>	
2004	Estados Unidos	2015 NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE	21.06 300 psi	>7	n/a	n/a	102 (4")	102 (4")	102 (4")	n/s	Estabilizado con cemento
2010	Estados Unidos	Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems <sup>1</sup>	0.5	28							Sugiere el uso de las normas de Nueva Zelanda
1998	Nueva Zelanda	NZS 4298	0.50	28	n/a	n/a	n/s	2 x h	n/s	5	
2017	Perú	E.080 (actualización)	1	28	n/a	n/a	100	100	150	4*	Diseño y construcción con tierra reforzada Para 1 piso y 2 respectivamente
2001	Zimbabue	SADCSTAN - ARSO	1.5-2.0 <sup>^</sup>								
1992	España	MOPT	0.6-1.8		n/a	n/a	50	50	50	n/s	
2000	Alemania	Lehmbau Regeln	4		n/a	n/a	200	200	200	3	

Notas: Diámetro del cilindro, h: altura, l: largo, a: ancho. n/a: no disponible, n/s: bases insuficientes. \* Mejores muestras de un total de 6. <sup>^</sup> solo para muretes.

## 4. Resultados

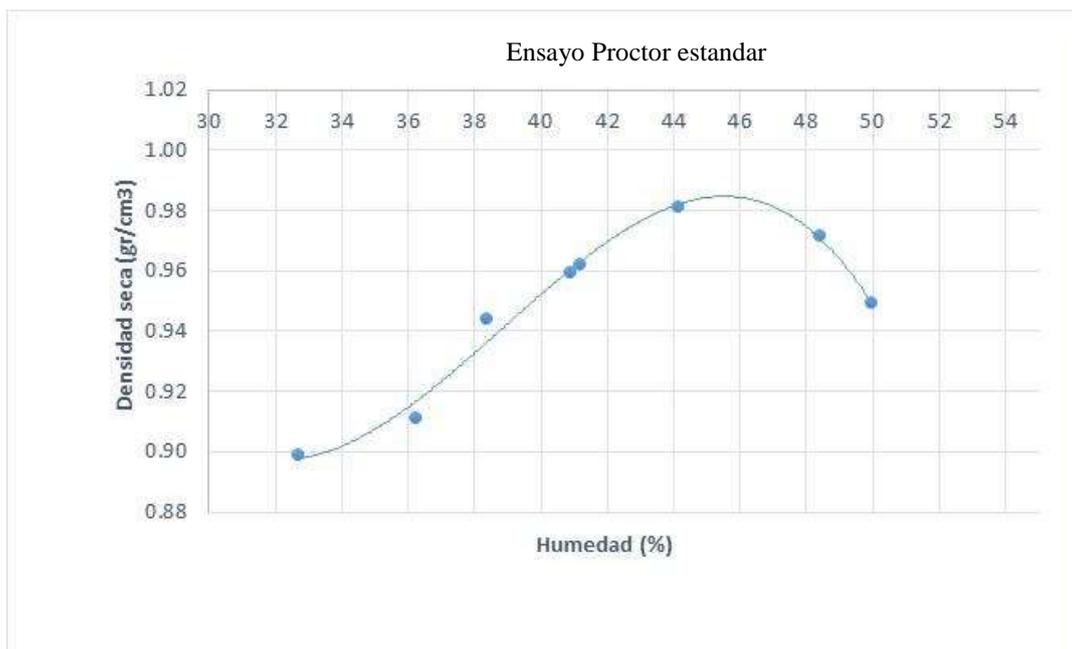
### 4.1. Ensayos de caracterización del suelo



**Figura 7:** Curva de granulometría, Ecuador. Fuente: Propia

Humedad natural		<b>38.27%</b>	<b>Clasificación del suelo</b>		
Límite Líquido	<b>LL</b>	<b>57.00</b>	SUCS	<b>SM</b>	
Límite Plástico	<b>LP</b>	<b>46.00</b>	AASHTO	<b>A 2-7(0)</b>	
Índice de Plasticidad	<b>IP</b>	<b>11.00</b>			

**Figura 8:** Resumen de la humedad natural, los límites de Attemberg y clasificación final del suelo. Fuente: Propia



**Figura 9:** Curva de compactación de ensayo de Proctor estándar, Ecuador. Fuente: Propia

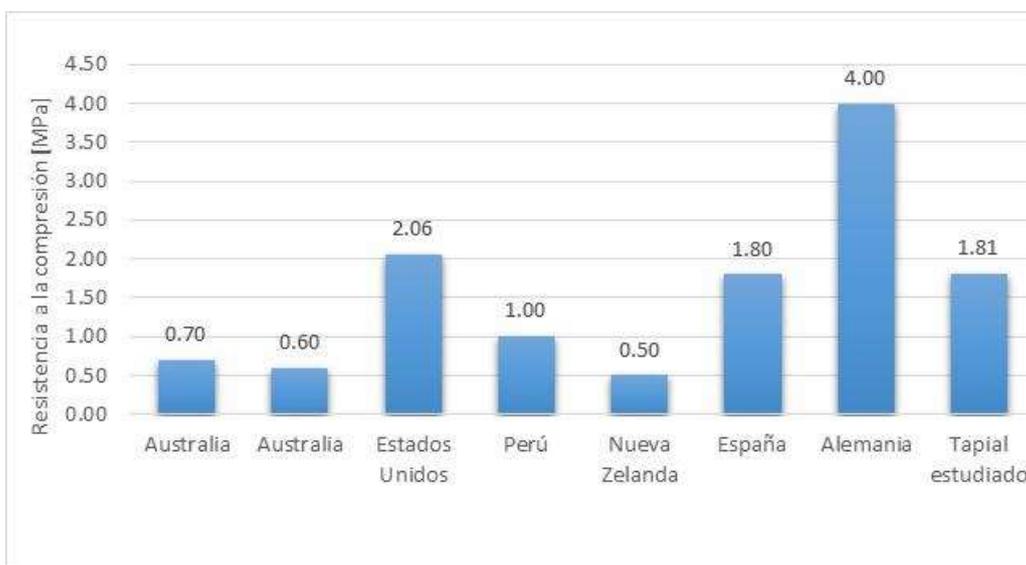
#### 4.2. Resistencia a la compresión de la muestra estudiada vs normas mundiales

**Tabla 7:** Resultados de normas y tamaños experimentados. Fuente: Delgado and Guerrero, (2006). (New Mexico and Rammed Earth Building-Code 2017). Elaboración propia, 2017.

Año	País	Nombre	N/mm²	Detalles de la muestra (mm)					Nº de muestras recomendadas	Resistencia a la compresión
				Cilindro		Polígono				Mpa días
				D	h	l	a	h		
1992	España	MOPT	1.8	n/a	n/a	50	50	50	6	1.68
2004	Estados Unidos	2015 NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE	2.06	n/a	n/a	102 (4")	102 (4")	102 (4")	4	1.85
2017	Ecuador	Forma 1				200	150	100	4	1
		Forma 2				300	150	150	4	1.81
		Forma 3		100	200				4	0.95

Simbología: D: Diámetro del cilindro, h: altura, l: largo, a: ancho, n/a: no disponible.

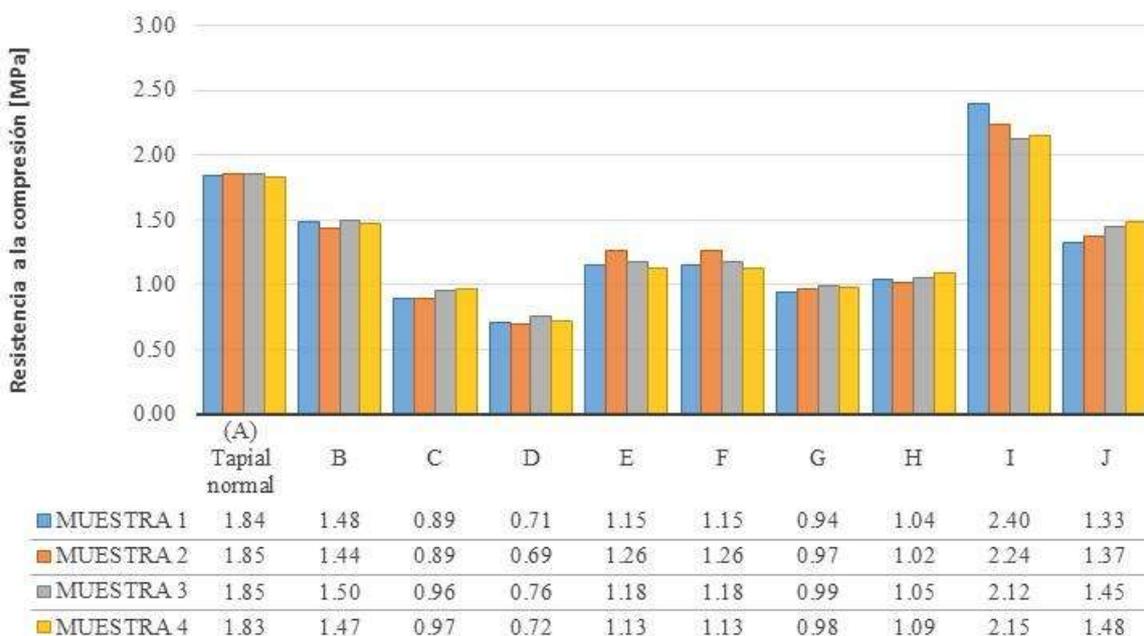
**Tabla 8:** Resistencias mínimas de algunos países vs. Tapial estudiado. (2017) Fuente: propia



### 4.3 Resultados para los modelos alivianados

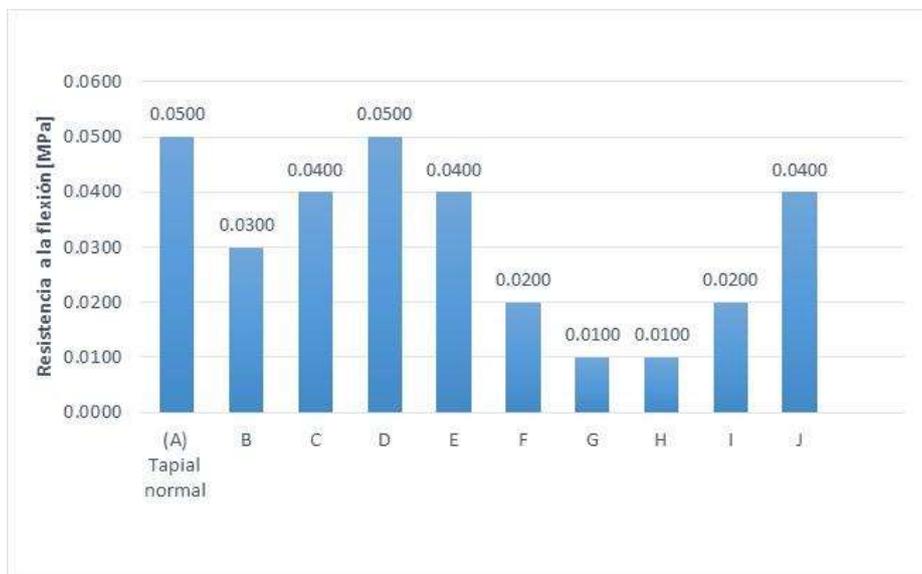
#### 4.3.1 Resistencias a la compresión

**Tabla 9:** Resistencia a la compresión de los 10 tipos propuestos de Tapial (2017). Fuente: propia



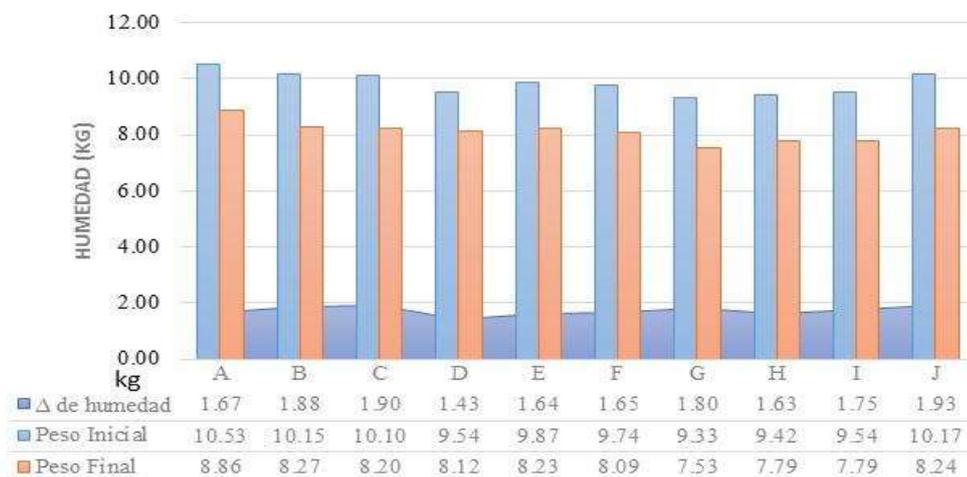
### 4.3.2 Resistencia a la flexión

**Tabla 10:** Resistencia a la flexión de los 10 tipos propuestos de Tapial. (2017) Fuente: propia.



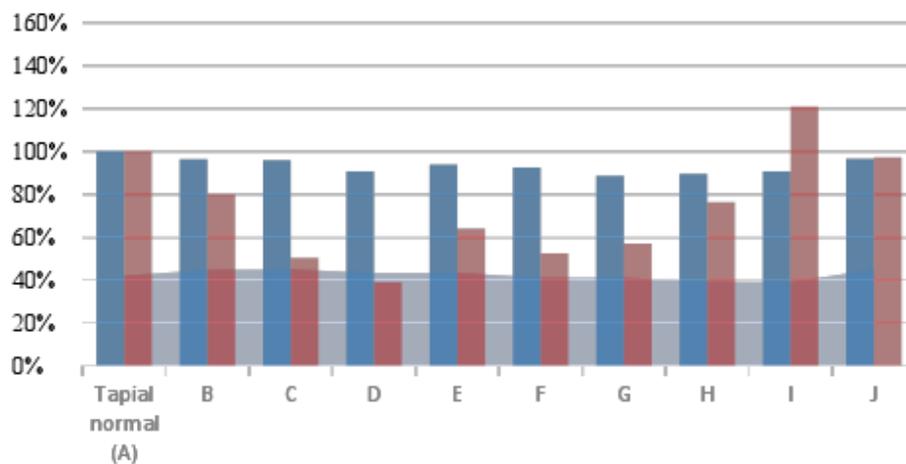
### 4.3.3 Pérdida de humedad

**Tabla 11:** Pérdida de humedad en las muestras a los 28 días (2017) Fuente: propia.



#### 4.3.4. Ratios de comparación

**Tabla 12:** Ratios de comparación peso y carga vs el tapial normal. (2017) Fuente: propia.



## 5. Conclusiones

Existe total congruencia entre los ensayos empíricos y los ensayos técnicos en laboratorio, para la determinación del material óptimo para la elaboración de tapias, siendo importante el ensayo empírico de la bolita para la determinación de la humedad óptima.

La clasificación del suelo por el AASHTO denota un suelo A 2-7, es decir, una grava y arena arcillosa o limosa y la SUCS mantiene coherencia ya que denota un suelo SM, es decir, una arena limosa.

El tapial tradicional sin modificaciones elaborado con tierra del cantón Paute, alcanza una resistencia media a compresión de 1.81 Mpa, lo cual le ubica sobre la mínima establecida por muchos países en el mundo para tapias sin modificaciones.

Se recomienda un tamaño de muestra de 30 x 15 x 15 cm para la determinación de capacidad de carga a compresión y flexión, ya que arrojó resultados confiables en comparación con la normativa mundial.

La humedad promedio para la elaboración de tapias es del 42.3% en el suelo estudiado.

El modelo J (Tapial con cabuya y PVC) es el modelo que mayor beneficio nos brinda, respecto a su peso vs resistencia a compresión. Por otro lado, el modelo D es el que posee menor resistencia a la compresión. Por lo tanto, la pérdida de resistencia a la compresión es proporcional a la cantidad de poliestireno que se añada a la muestra.

El agregar poliestireno expandido (EPS) genera una mayor resistencia a flexión. Observando la Tabla 10, vemos que el modelo D, que lleva la mayor cantidad de (EPS), tiene un valor de resistencia mayor a las demás muestras en el ensayo de flexión.

De acuerdo a los valores de humedad obtenidos, hemos llegado a la conclusión de que la humedad en el tapial es un factor muy importante en su elaboración; ya que depende

de él para alcanzar su mayor compactación y mejor resistencia. Por tanto, la humedad promedio para la elaboración de tapiales es del 42.3%, para el suelo del cantón Paute.

Las edificaciones de tapial se caracterizan por muros de grandes dimensiones, con pesos muy superiores a las edificaciones de hormigón armado o de acero, demandando una cantidad de tierra importante para la correcta configuración estructural. El alivianar los muros busca reducir el consumo de tierra con la utilización de otros materiales que den volumen pero con un peso muy inferior al del suelo y con comportamientos para requerimientos de capacidad de carga similares o competitivos.

Luego de analizar la técnica de antaño para la fabricación de tapiales, creemos que el tapial alivianado puede ser la base, siempre que se busquen mejoras en el comportamiento físico, mecánico y estructural del sistema; traducido en una arquitectura moderna para el mantenimiento y rehabilitación de edificaciones existentes, así como, la creación de nuevas.

Existen varias formas de disminuir el peso de los muros de tapial; una de ellas es reducir su espesor, siempre y cuando se realicen modificaciones al tapial original tales como: adición de estabilizantes o añadiendo mínimas cantidades de cemento.

## 6. Bibliografía

- AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.
- AASHTO. (2004). *Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Solid*. T89-02, AASHTO, Washington, D.C.
- AASHTO. (2004). *Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Solids*. T90-00, AASHTO, Washington, D.C.
- ASTM C117-13, Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, Recuperado de: [www.astm.org](http://www.astm.org)
- CID, J., F. R. MAZARRÓN, and I. CAÑAS. 2011. "Las Normativas de Construcción Con Tierra En El Mundo." *Informes de La Construcción* 63 (523): 159–69. doi:10.3989/ic.10.011.
- DELGADO, M. JIMÉNEZ, C., and CAÑAS, I. Guerrero. 2006. "Earth Building in Spain." *Construction and Building Materials* 20 (9): 679–90. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.02.006.
- E.080, Norma. 2017. *Norma E.080 Diseño Y Construcción Con Tierra Reforzada*. Perú. Recuperada de: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>.
- GATTI, F. 2012. "Arquitectura Y Construcción En Tierra: Estudio Comparativo de Las Técnicas Contemporáneas En Tierra." Universidad Politécnica de Cataluña. [Http://mastersuniversitaris.ups.edu/tecnologiaarquitectura](http://mastersuniversitaris.ups.edu/tecnologiaarquitectura).

- GOMES, M.I., DÍAZ GONÇALVES, C., and FARIA, P., 2014. "Unstabilized Rammed Earth: Characterization of Material Collected from Old Constructions in South Portugal and Comparison to Normative Requirements." *International Journal of Architectural Heritage* 8 (2): 185–212. doi:10.1080/15583058.2012.683133.
- JAQUIN, Paul A, AUGARDE, C., GERRARD, C., 2008. "Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques." *International Journal of Architectural Heritage* 2 (4): 377–400. DOI: 10.1080/15583050801958826.
- MANIATIDIS, V., & WALKER, P., 2003. "A Review of Rammed Earth Construction." *Developing Rammed Earth for UK Housing*. University of Bath. <http://staff.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>.
- MINKE, G. 2005. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel · Berlin · Boston: Birkhäuser. doi:10.1007/3-7643-7873-5.
- . 2006. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Kassel: Birkhäuser. doi:10.1007/3-7643-7873-5.
- . 2010. "Manual de Construcción En Tierra : La Tierra Como Material de Construcción Y Su Aplicación En La Arquitectura Actual." Montevideo: Fin de siglo.
- NEW MEXICO ADOBE AND RAMMED EARTH BUILDING-CODE. 2017. *New Mexico Earthen Buildings Materials Code. NMAC 14.7.4. 2003. Construction Industries Division CID of the Regulation and Licensing Department*. Santa Fe, Estados Unidos: Construction Industries Division CID of the regulation and Licensing Department.
- NZS 4298. 1998. *NZS 4298 (1998): Materials and Workmanship for Earth Buildings*. New Zealand Technical Committee. Vol. 4298. Nueva Zelanda.
- SILVA, R., OLIVEIRA, D., MIRANDA, T., ESCOBAR, C., and CRISTELO, N., 2012. "Rammed Earth: Feasibility of a Global Concept Applied Locally." *13º Congresso Nacional de Geotecnia*. doi:Cd-rom.
- TEJADA, S., MENDOZA, A., DÁVILA, D., 1990. *Urbano Tejada Schmidt Alan Mendoza García*. Lima: Sencico. Recuperado de: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3006>.