

## COMPARACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS ENTRE EL ADOBE Y EL TAPIAL EN EL AUSTRO DEL ECUADOR

### COMPARISON OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS BETWEEN THE ADOBE AND THE RAMMED EARTH IN THE AUSTRO OF ECUADOR

Eddy Daniel Aguilar Alberca, Andrés Alejandro Cárdenas Álvarez, Xavier Ricardo Cárdenas Haro, Rosa Angélica Quezada Zambrano, Julio Ismael Sarmiento Avilés  
Universidad de Cuenca

Recibido: 01 de agosto de 2017  
Aceptado: 25 de noviembre de 2017

#### Resumen:

*La tierra es uno de los materiales de construcción más antiguos en el mundo. En el caso ecuatoriano existen cinco técnicas vernáculas predominantes: el adobe, bahareque o quincha, piedra, madera y tapial. Esta investigación se concentra en el estudio del comportamiento y las características de los materiales usados en el adobe y tapial, para el establecimiento de parámetros físicos y mecánicos que sean útiles en el campo estructural y, sobre todo, permitan que el diseñador acceda a datos para cálculos básicos o modelamiento avanzado con software y análisis de estructuras con procedimientos lineales y no lineales, asemejando a la realidad el comportamiento de las edificaciones.*

**Palabras clave:** Adobe, Tapial, Tierra, Físicos, Mecánicos

#### Abstract:

*The earth is one of the oldest and most widely used building materials worldwide. The research is relevant in Ecuador since in its temperate region it possesses five predominant vernacular techniques: adobe, bahareque or quincha, stone, wood and tapial, and the possibility of being able to combine several of these techniques in a single building. The establishment of physical and mechanical parameters of materials from the Austro of Ecuador, provide a tool in the structural field, allowing the designer to have data for basic calculations or advanced modeling with software and analysis of structures with linear and nonlinear procedures, resembling reality the behavior of buildings.*

**Keywords:** Adobe, Rammed Earth, Earth, Physicists, Mechanics

\* \* \* \* \*

## 1. Introducción y contexto

### 1.1 Construcción con tierra en el mundo

La tierra es uno de los materiales de construcción más antiguo y difundido a nivel mundial; ha sido utilizado por todas las culturas ancestrales, por medio de técnicas de construcción como el adobe y el tapial. En el caso del adobe, su hallazgo data del periodo Neolítico, 8000 a 6000 a.C., en Turquestán; hace 9000 años en Çatalhöyük, el conjunto urbano más grande y mejor preservado del neolítico en el Oriente Medio; y, del 2500 a 1600 a.C., en Gonur Depe- Turkmenistán, la ciudad oasis desarrollada en 28 hectáreas rodeada por una fortaleza ( Figura 1)

Por otro lado, el inicio de utilización del tapial tiene una difícil definición, pues sus rastros en la historia se limitan a documentos de bienes históricos patrimoniales, en donde es complejo analizar su origen vernáculo hasta nuestros días. Sin embargo, existen cimientos a base de tierra apisonada, descubiertos en la región de Asiria en el año 5000 a. C<sup>1</sup>. Además, la muralla China es uno de los mejores ejemplos para esclarecer su permanencia en el tiempo. (Figura 2).

Según datos del World Heritage Earthen Architecture Programme WHEAP (2012) sobre las 150 ciudades inscritas en la lista de Patrimonio Mundial, el 50% de estas ciudades tienen construcciones en adobe y el 20% en tapial; mientras que, a nivel de América Latina y el Caribe, el 60% de las ciudades inscritas en esta lista usaron adobe y el 26% tapial. Todo esto, da cuenta de la importancia de estas técnicas constructivas, a nivel internacional, y su vigencia hasta nuestros tiempos.



**Figura 1:** Complejo al sur de Gonur. Gonur South Complex. (2016)

---

<sup>1</sup> MINKE, G. "Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture". En: <<http://doi.org/10.1007/3-7643-7873-5>>. (8-enero-2017)



**Figura 2:** Muralla China. UNESCO. (s/f)

## 1.2. Construcción con adobe y tapial en el sur del Ecuador

El adobe y tapial, en el Ecuador, son prácticas de construcción que han sido utilizadas en las regiones del austro del país, prueba de ello, las múltiples edificaciones en pie, tanto en centros urbanos como en zonas rurales. A pesar de ello, no existe un registro oficial ni un levantamiento apropiado de todos estos bienes.

La técnica de tapial está registrada en el sur del Ecuador, en lugares como Gualaceo, Paute, Cañar, Chorocopte<sup>2</sup>, y en algunas zonas rurales aledañas. Esta técnica fue desarrollada, mayormente, por los dueños de las haciendas en contadas zonas de la región. Así por ejemplo, el caso del hospital “Miguel Moreno Vásquez”, ubicado al sureste del cantón, Gualaceo, en la provincia del Azuay (Figura 3). Sin embargo, esta forma de construcción ha entrado en desuso por el esfuerzo físico que requiere su construcción, la migración, los desastres naturales y la introducción de nuevas técnicas constructivas.

Históricamente, existen evidencias del uso de la técnica del adobe desde antes de la época incaica; posteriormente, con la llegada de los españoles, esta práctica persistió en el período colonial, del que, actualmente, se conserva la Casa de las Posadas, en la ciudad de Cuenca<sup>3</sup> (ver Figura 4). En la época republicana, a pesar de la implantación de nuevos estilos arquitectónicos, el adobe continuó empleándose en la construcción de nuevas edificaciones.

Sin embargo, según la Actualización del Inventario Patrimonial de 1998, realizada en 2014 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC), a inicios del siglo XX, la falta de conocimiento sobre conservación y la introducción de nuevos materiales como el hormigón y el acero, desplazó el uso del adobe lo que significó un 34% de pérdidas en el patrimonio edificado.

<sup>2</sup> PESÁNTEZ, M. & GONZÁLEZ, I. “Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar: Técnicas, creencias, prácticas y saberes”. En: <<http://www.inpc.gob.ec/component/content/article/493>>. (25-octubre-2016).

<sup>3</sup> CARNEVALE, E., RAKOTOMAMONJY, B., SEVILLANO, E., ABAD, M. “Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales material pedagógico de tierra en Cuenca” En: <<http://whc.unesco.org/document/142073>>. (Fecha de consulta: 15-octubre-2016).



**Figura 3:** Obra en tapial, vista lateral del Hospital Miguel Moreno Vásquez, Ecuador. Fuente: Propia



**Figura 4:** Obra en adobe, Casa de las posadas, Cuenca-Ecuador. Fuente: propia.

A pesar de todo esto, las técnicas de adobe y tapial siguen empleándose en las nuevas construcciones. Sobre esto, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) ha registrado 184 nuevas edificaciones, construidas en tierra en todo el Ecuador, de las cuales 54 están ubicadas en la provincia del Azuay, en los últimos 10 años. (Tabla 1).

**Tabla 1:** Permisos de construcción con tierra (adobe y tapial) en Ecuador y la provincia del Azuay en relación con todos los permisos de construcción, en los últimos 10 años. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2016).

Año	Total permisos de construcción en Ecuador	Total permisos de construcción con tapial y adobe en Ecuador		Total permisos de construcción en Azuay	Total permisos de construcción con tapial y adobe en Azuay	
	[u]	[u]	[%]	[u]	[u]	[%]
2006	26.584	16	0,06	2.921	3	0,10
2007	34.787	12	0,03	3.288	8	0,25
2008	34.653	16	0,05	2.909	10	0,34
2009	38.835	10	0,03	2.999	3	0,10
2010	39.657	16	0,04	2.758	3	0,11

2011	42.042	15	0,04	3.420	6	0,18
2012	36.617	30	0,08	2.590	6	0,23
2013	33.385	17	0,05	2.794	7	0,25
2014	27.199	33	0,12	2.636	7	0,27
2015	28.379	19	0,07	2.637	4	0,15

### 1.3. Área de estudio

Para la determinación de las muestras se utilizó información catastral del proyecto Vlir Ciudad Patrimonio Mundial (VlirCPM), de la Facultad de Arquitectura, Universidad de Cuenca, para la ubicación de los productores de adobe. También, se consideró la edificación 1, llamada “Casa Moreno”, en última etapa de restauración, en donde se encontraron adobes producto de la tierra reciclada de la misma edificación. Igualmente, en la edificación 2, denominada “Casa Palacios Abad”, cuya etapa de restauración estaba iniciando, se pudo obtener y analizar adobes antiguos.

En el caso del tapial, se consideró suelo o tierra natural extraída del cantón Paute, provincia del Azuay, por ser el lugar con mayor cantidad de obras en pie, elaboradas con tapial sin agregar ninguna clase de estabilizante. Tanto el adobe como el tapial fueron sometidos a ensayos rigurosos de su materia prima, para determinar su composición y caracterización, así como, analizar ejemplares construidos con las dos técnicas y sometidos a ensayos destructivos en laboratorio.

**Tabla 2:** Ubicación de los Casos de estudio. Fuente: propia.

Código	Ubicación	Longitud	Latitud
<i>Adobera 1</i>	Cuenca	79° 2' 34.51" O	2° 51' 38.42" S
<i>Adobera 2</i>	Sinincay	79° 1' 29.73" O	2° 50' 39.98" S
<i>Adobera 3</i>	Sinincay	79° 1' 30.00" O	2° 50' 38.00" S
<i>Edificación 1</i>	Centro Histórico de Cuenca	79° 0' 31.63" O	2° 53' 56.99" S
<i>Edificación 2</i>	Centro Histórico de Cuenca	79° 0' 41.79" O	2° 53' 51.43" S
<i>Tapial Paute</i>	Paute	78° 45' 37.90" O	2° 49' 24.80" S

**Tabla 3:** Dimensiones de los especímenes. Fuente: propia.

	Dimensiones		
	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]
Adobera 1	192,81	395,06	134,19
Adobera 2	202,50	402,50	183,75
Adobera 3	202,80	411,30	171,50
Edificación 1	192,81	395,10	134,20
Edificación 2	244,30	498,80	135,00

Tapial Paute	150,00	297,00	149,00
--------------	--------	--------	--------

## 2. Ensayos y experimentación

Los ensayos y experimentación permitieron catalogar y caracterizar geotécnicamente los tipos de suelo que intervinieron en la investigación; también, determinar las propiedades de los diferentes elementos a estudiarse. Para este proceso se utilizaron las normas de la *American Society of Testing Materials* (ASTM); la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO); el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Las pruebas físicas de lavado de finos, granulometría, límites de *Atterberg*, entre otros, fueron realizadas en base a las normas descritas en la Tabla 4. Los requerimientos mínimos para realizar estos ensayos y el éxito de sus resultados, dependió de los espacios físicos adecuados, el correcto manejo y almacenaje de muestras del laboratorio y, finalmente, del buen mantenimiento y calibración de los equipos.

**Tabla 4:** Normas utilizadas en ensayos físicos. Fuente: propia.

Ensayo	Norma
Ensayo normalizado para materiales más finos que una criba No. 200 (75 $\mu\text{m}$ ) en agregados minerales mediante lavado	ASTM C117 – 03
Granulometría	ASTM D-422-63 / AASHTO T 88 / NTE INEN 696:2011 / Ecuador / NTE INEN 0697:2010 / Ecuador
Límite líquido	ASTM D4318 / AASHTO T 89 / NTE INEN 0691:1982 / Ecuador
Límite plástico	ASTM D4318 / AASHTO T 90 / NTE INEN 0692:1982 / Ecuador

En cuanto a los ensayos mecánicos, es decir, la compresión de unidades y muretes de adobe y tapial, su tracción indirecta o compresión diagonal y, la flexión en unidades, es importante decir que no se encontraron normas sobre el procedimiento exacto para la ruptura de muestras en tierra. Las normativas existentes alcanzan a determinar únicamente tamaños para las muestras, pero no velocidades de la prensa, distancia entre apoyos, punto de aplicación de carga, tiempos de carga, etc. Por esta razón, se consideraron las normas referentes al hormigón, con ajustes en la velocidad de la prensa para obtener resultados fiables, tomando en cuenta que las muestras son muy sensibles a cualquier variación brusca.

## 3. Metodología

El programa de ensayos para las muestras de adobe y tapial consistió en:

- La revisión bibliográfica sobre ensayos geotécnicos y normativa que determine la metodología de las pruebas.

- En el caso del adobe, se determinó el área de estudio y los proveedores de las muestras y, para el tapial, se investigó el lugar de obtención del suelo para la fabricación de las muestras.
- El conocimiento de las propiedades físicas de los materiales seleccionados mediante algunos test de campo y laboratorio.
- La revisión de las normas y selección del número de muestras y tamaños sugeridos para los elementos.
- La determinación de los ensayos mecánicos a realizar.
- La realización de ensayos de resistencia de adobe y tapial
- La determinación de comparación entre las diferentes unidades ensayadas.

## 4. Resultados

### 4.1 Ensayos de caracterización del suelo

**Tabla 5:** Caracterización física del adobe y tapial característico del Sur de Ecuador. Fuente: propia.

	Granulometría			Límite Líquido [%]	Límite Plástico [%]
	Arcilla [%]	Arena [%]	Grava [%]		
Adobera 1	69,85	28,47	1,68	54,95	31,85
Adobera 2	38,80	47,30	13,90	40,08	22,25
Adobera 3	45,50	40,10	14,30	47,48	33,89
Edificación 1	48,40	45,50	6,10	34,42	25,81
Edificación 2	70,60	26,60	2,86	32,78	25,94
Tapial	23,08	66,09	10,84	57,00	46,00

**Tabla 6:** Tipo de suelo del adobe y tapial según la clasificación SUCS. Fuente: propia.

	Tipo de suelo	Descripción
Adobera 1	MH	Suelo de grano fino con limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas.
Adobera 2	SC	Suelo de grano grueso con arcillas inorgánicas de plasticidad media.
Adobera 3	SM	Suelo de grano grueso con limos inorgánicos de compresibilidad media y arcillas orgánica.
Edificación 1	SM	Suelo de grano grueso con limos inorgánicos de compresibilidad media y arcillas orgánica.
Edificación 2	CH	Suelo de grano fino con limos inorgánicos de compresibilidad media y arcillas orgánica.
Tapial	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

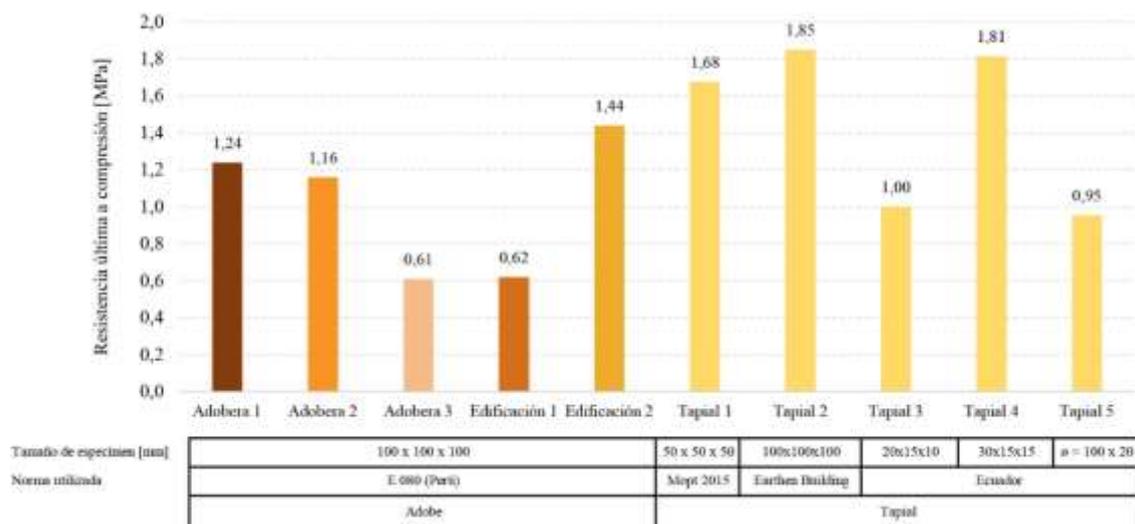
## 4.2. Resistencia última a compresión

### 4.2.1 Resistencia última a compresión en unidades de adobe y tapial

**Tabla 7:** Resistencia última a compresión de unidades de adobe y tapial. Fuente: propia.

	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]	Resistencia última a compresión [MPa]
Adobera 1	119	117	107	1,24
Adobera 2	99	99	99	1,16
Adobera 3	93	94	100	0,61
Edificación 1	100	101	101	0,62
Edificación 2	95	100	99	1,44
Tapial 1	50	50	50	1,68
Tapial 2	100	100	100	1,85
Tapial 3	200	150	100	1,00
Tapial 4	300	150	150	1,81
Tapial 5	$\phi = 100$		200	0,95

**Nota:**  $\phi$  = Diámetro del cilindro

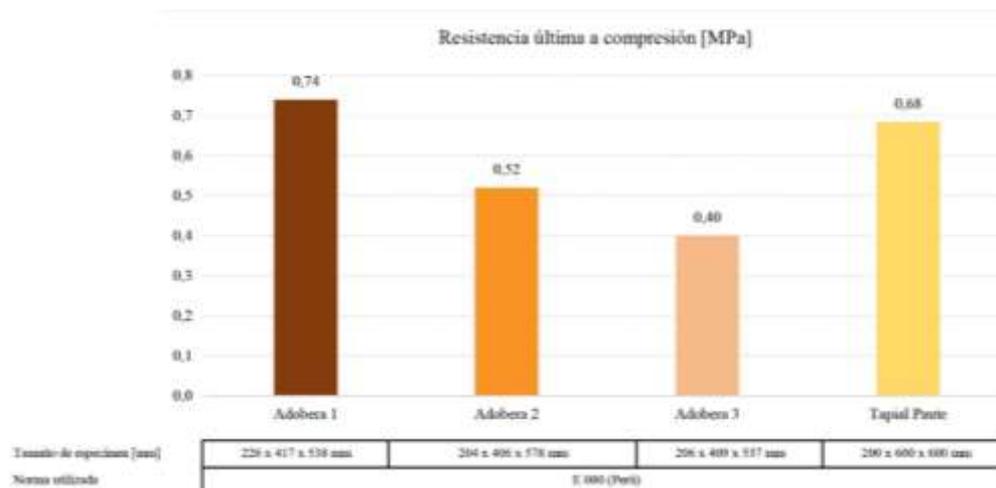


**Figura 5:** Resistencia última a compresión de unidades de adobe y tapial. Fuente: propia.

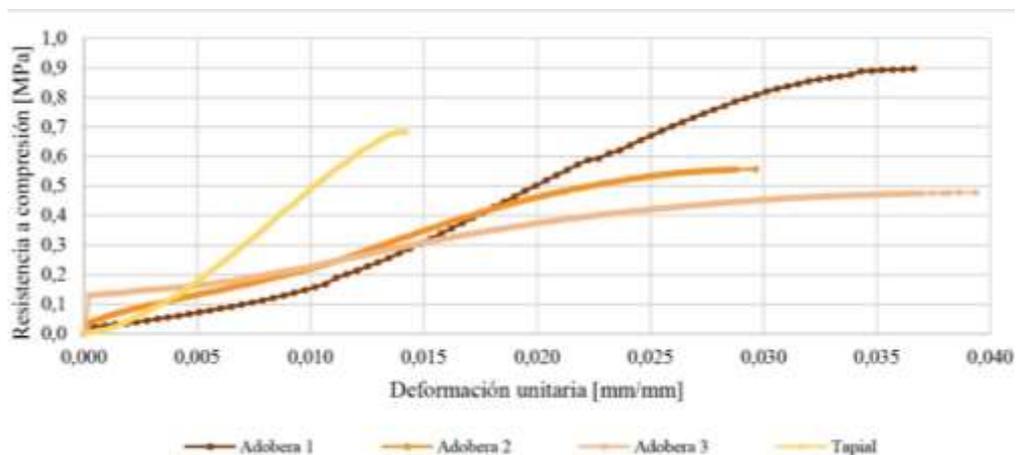
#### 4.2.2 Resistencia última a compresión en muretes de adobe y tapial

**Tabla 8:** Resistencia última a compresión de muretes de adobe y tapial. Fuente: propia.

	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]	Resistencia última a compresión [MPa]
Adobera 1	226,06	472,81	535,88	0,74
Adobera 2	204,30	406,40	578,90	0,52
Adobera 3	206,94	409,63	537,44	0,40
Tapial paute	200,00	600,00	600,00	0,68



**Figura 6:** Resistencia última a compresión de muretes de adobe y tapial. Fuente: propia.

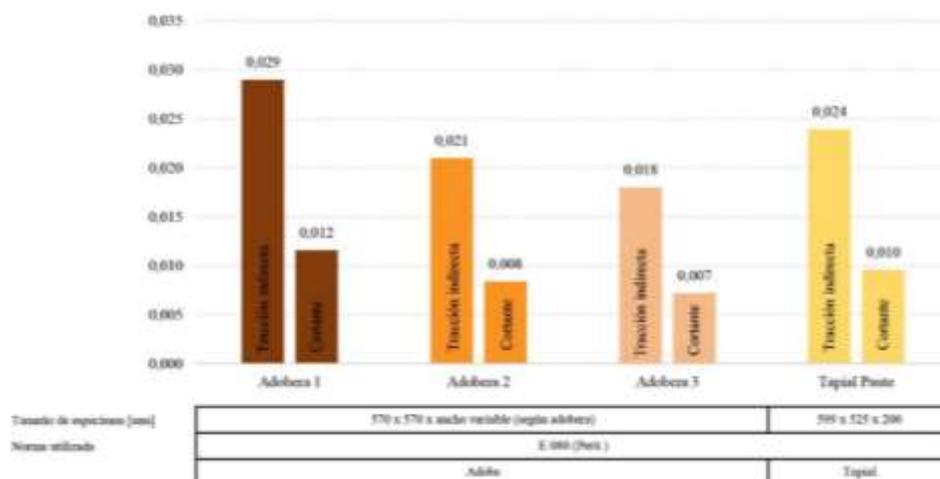


**Figura 7:** Esfuerzo a compresión Vs. deformación de muretes de adobe y tapial. Fuente: propia.

### 4.3 Resistencia última a tracción indirecta en muretes de adobe y tapial

**Tabla 9:** Resistencia última a tracción indirecta en muretes de adobe y tapial. Fuente: propia.

	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]	Diagonal [mm]	Resistencia última a tracción indirecta [MPa]	Resistencia última a cortante [MPa]
Adobera 1	228,13	567,19	570,94	804,81	0,029	0,012
Adobera 2	204,88	568,50	562,50	799,89	0,021	0,008
Adobera 3	204,88	561,19	540,19	778,95	0,018	0,007
Tapial Paute	200,70	599,00	525,00	796,51	0,024	0,010



**Figura 8:** Resistencia última a tracción indirecta en muretes de adobe y tapial. Fuente: propia.

### 4.4. Resistencia última a flexión de unidades de adobe y tapial

**Tabla 10:** Resistencia última a flexión de unidades de adobe y tapial. Fuente: propia.

	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]	Resistencia última a flexión [MPa]
Adobera 1	192,81	395,06	134,19	3,00E-01
Adobera 2	202,50	402,50	183,75	2,03E-05
Adobera 3	202,80	411,30	171,50	3,38E-05
Edificación 1	192,81	395,10	134,20	5,34E-05
Edificación 2	244,30	498,80	135,00	1,18E-01
Tapial Paute	150,00	297,00	149,00	4,39E-02

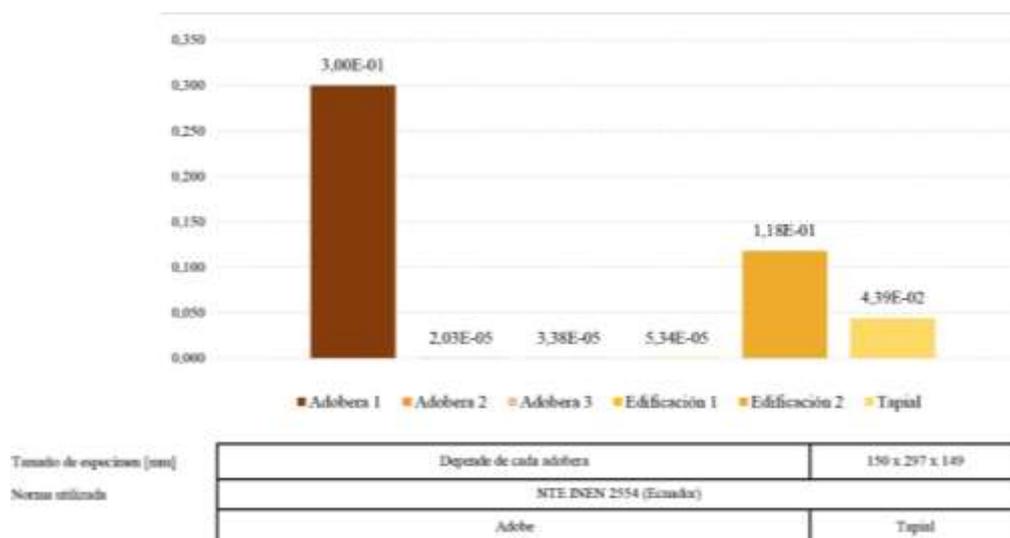


Figura 9: Resistencia última a tracción de unidades de adobe y tapial. Fuente: propia.

## 5. Conclusiones

El límite líquido del tapial es del 57%, en comparación con el adobe que es variable entre el 32% y el 54%. Por tanto, se concluyó que para el límite líquido, la cantidad de arcilla en la muestra determina la obtención del valor respectivo.

El límite plástico del tapial es del 46%, en comparación con el adobe que es variable entre el 22% y el 31%, esto determina que el suelo del tapial tiene un índice de plasticidad igual a 11%, mientras que para el adobe nuevo, los valores son superiores al del tapial variando entre 13% y 23%; para los adobes de las edificaciones restauradas, el valor del índice de plasticidad es inferior al del tapial, entre 6% y 8%. Entonces, esto determina la influencia de las variables tiempo Vs. humedad en las muestras ensayadas.

La cantidad de arcilla promedio en el adobe es del 54%, muy superior a la cantidad de arcilla en el suelo utilizado por el tapial, que es del 23%; en cuanto a las arenas, el promedio para el adobe es del 37% y para el tapial el 66% y, las gravas en el adobe alcanzan en promedio el 7% y para el tapial el 10%.

La composición de material para la fabricación de adobes en orden descendente y según la cantidad de material y tipo es: “arcilla – arena y grava” y para el tapial es “arena – arcilla y gravas”

La resistencia a compresión de unidades de adobe en promedio es de 1 Mpa y para el tapial, según las diferentes formas ensayadas, es de 1,45 Mpa; este último, demostró un mejor comportamiento ante fuerzas últimas de compresión.

En los ensayos de resistencia última a compresión en muretes de adobe y tapial se encontró que el tapial es un 20% más resistente que el adobe.

La resistencia última a tracción indirecta en muretes, tanto de tapial como de adobe, es similar con valores de 0,02 Mpa y, la resistencia última a cortante en muretes de adobe y tapial, es cercana a los 0,01 Mpa. Por lo tanto, el comportamiento de las dos técnicas en tierra es igual ante estos ensayos.

La resistencia última a flexión de unidades de adobe en promedio es de 0,08 Mpa y para el tapial es de 0,04 Mpa, teniendo un mejor comportamiento el adobe que el tapial,

suponiendo que dicho comportamiento es por la colocación de fibras dentro del adobe que mejora la resistencia a flexión del elemento.

## 6. Bibliografía

- CARNEVALE, E., RAKOTOMAMONJY, B., SEVILLANO, E., ABAD, M. (2015). Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales material pedagógico de tierra en Cuenca. *Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC)*. Recuperado el 15 de octubre del 2016 de: <http://whc.unesco.org/document/142073>
- MINKE, G. (2006). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Kassel: Birkhäuser. Recuperado el 8 de enero del 2017 de <http://doi.org/10.1007/3-7643-7873-5>
- MINKE, G. (2009). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 208. Recuperado el 3 de enero del 2017 de <https://doi.org/10.1007/3-7643-7873-5>
- MINKE, G. (2010). *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Kassel: Fin de siglo.
- PESÁNTEZ, M. & GONZÁLEZ, I. (2011). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar: Técnicas, creencias, prácticas y saberes*. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). Recuperado el 15 de octubre del 2016 de <http://www.inpc.gob.ec/component/content/article/493>.