

## **CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TIERRA VERTICAL COMPRIMIDA**

---

***César Ponce Palafox***

Catedrático investigador, responsable del laboratorio de Materiales y miembro del cuerpo académico Viabilidad sustentable de la Edificación en la escuela de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Coahuila Unidad Torreón

***Armando Nicolas Moreno Juárez***

Catedrático investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Coahuila Unidad Torreón

***Gonzalo José Francisco Pérez Gómez Martínez***

Catedrático investigador, miembro del cuerpo académico Viabilidad Sustentable de la Edificación en la escuela de Arquitectura unidad Torreón en la Universidad Autónoma de Coahuila

***Octavio E. Cárdenas Díaz***

Catedrático investigador en la Facultad de Ingeniería civil Unidad Torreón y responsable del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Autónoma de Coahuila

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** En la actualidad es necesario buscar materiales alternativos para construir muros de mampostería que no generen contaminación ambiental en el proceso de fabricación. En este trabajo se presenta una propuesta de construir muros en vivienda de baja altura usando tierra comprimida, el trabajo se sustenta en pruebas experimentales de 3 tipos de muros que fueron construidos con dimensiones que faciliten su elaboración y manejo en laboratorio, se construyen 3 tipos de muros con dos variables, de los cuales uno es construido con tierra sin ningún refuerzo, otro con tierra y reforzado con carrizo colocado verticalmente y el último con tierra y refuerzo de carrizo colocado horizontal y verticalmente. Se presentan los resultados de laboratorio de ensayos realizados para clasificar el suelo. Se establece la dosificación suelo, arena, cal y agua que debe tener una mezcla para construir muros de tierra. Finalmente se muestran los resultados de los especímenes construidos.

**Palabras clave:** Tierra Comprimida, Muros, Tapial, Carrizo, vivienda.

## INTRODUCCIÓN

Existe una conexión directa entre disponer de un alojamiento adecuado y la posibilidad de desarrollar un proyecto de vida personal y familiar; por eso la vivienda es un elemento fundamental para garantizar la dignidad humana. En ella no sólo se desarrolla la vida privada de las personas, sino también es un espacio de reunión, de convivencia, protección y cuidado de las familias y comunidades. En pocas palabras, es una necesidad básica de la condición humana.

En México, está estipulado en el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que “Toda familia tiene derecho a disfrutar de una vivienda digna y decorosa.” lo cual, hace de ésta, un derecho humano de todo habitante de México. Actualmente

la posibilidad de acceder a la propiedad de una vivienda digna es uno de los principales problemas que afectan a miles de familias, cuyos ingresos son bajos y su capacidad de ahorro inexistente. En México se tienen programas que otorgan la oportunidad de acceder a créditos para adquirir una vivienda, pero estos están limitados a ciudadanos que tengan una formalidad total en sus empleos, en marzo del 2017 el INEGI reportó que 6 de cada 10 mexicanos tienen empleos informales, por consecuencia son ciudadanos que no tienen acceso a créditos para adquirir una vivienda, con estos datos es posible identificar que en México se tiene un problema de vivienda digna en ciudadanos con empleos informales. Aunado al problema de la formalidad de los empleos las viviendas que se están obteniendo con créditos hipotecarios son de mala calidad y a un costo elevado, lo cual deja a muchos trabajadores aún con empleos formales sin accesos a estos créditos debido al impacto económico que tiene para sus familias.

En la comarca lagunera se tienen registros de construcción con tierra con más de 100 años de antigüedad, lo cual lleva a concluir que se inició la construcción con tierra a principios del siglo XX en la región, las viviendas existentes de esa época son construidas con adobe, ladrillo y madera, con ausencia total de concreto y acero que son los materiales modernos para edificar cualquier estructura. Al no contar con materiales modernos se puede decir que estas viviendas son de mala calidad estructural pero la realidad es que son más resistentes que las construidas en la actualidad. Es muy común escuchar decir que estas construcciones están en riesgo de colapsar por estar muy deterioradas aparentemente en su estructura y que ponen en riesgo la integridad de las personas que pasan cerca de ellas, la realidad no se puede negar y tienen razón si es un riesgo, pero estas construcciones están en riesgo de colapso

por falta de mantenimiento y porque están en total abandono, esto pasa en cualquier construcción que dura abandonada por más de 30 años, sin importar el material con el que esté construido. De las pocas viviendas existentes que se han estudiado con una edad de más de 100 años se encontró que algunas no cuentan con cimentación en la base de los muros, los adobes tienen una resistencia a la compresión mayor que la de los ladrillos o bloques de concreto que se usan actualmente, demostrando que los materiales modernos no tiene la misma calidad que los fabricados en esa época, en base a lo anterior se puede decir que, si una vivienda edificada actualmente es evaluada estructuralmente después de 100 años de edad es casi seguro que los problemas serán mayores a los de construcciones antiguas. Por lo tanto, se puede decir que las metodologías constructivas de hace 100 años eran mejores que las actuales pero aparte de la metodología constructivas en las viviendas se encontró que los muros con orientación poniente tienen un espesor mayor que en las otras orientaciones, se agrega así porque se sabían que esos muros son los que están expuestos a los rayos del sol y con esto evitaban que la temperatura externa afectara el interior, con esto se resuelve el problema de confort sin necesidad de aparatos de refrigeración o calefacción que generen un gasto económico elevado por consumo de energía para los usuarios y por consecuencia se reduce la contaminación al medio ambiente.

Considerando las ventajas que tiene la tierra como aislante térmico, en este trabajo se propone construir muros de tierra vertical comprimida (tapial) en la Comarca Lagunera, ya que está considerada como una zona árida donde las temperaturas en verano oscilan los 45°C y en invierno pueden llegar a los -8°C, debido a estas temperaturas extremas en verano e invierno los materiales industrializados usados actualmente

son inadecuados para edificar muros de mampostería en viviendas de la región, debido a que las piezas de mampostería son de espesores muy pequeños o incluso sólidos y las piezas se vuelvan conductores eficientes de temperatura, por lo tanto, en muros construidos con estas piezas la temperatura exterior es casi la misma al interior, por estas razones las viviendas son no confortables para el usuario. El usuario que adquiere viviendas con estas características es obligado a instalar un equipo de refrigeración o calefacción según la época del año.

El estudio experimental consiste en construir 6 muros de 1m X 0.7m, el primero se construye únicamente con tierra comprimida, el segundo se compone de tierra comprimida y se refuerza con carrizo vertical y el ultimo con tierra y reforzado con carrizo vertical y horizontal formando una cuadrícula de 15 X 15 cm, se usan dos tipos de suelos de la Comarca Lagunera extraídos de dos diferentes bancos de materiales. El suelo se estudia en laboratorio para determinar el límite líquido, límite plástico y granulometría, para revisar si el suelo contiene las características físicas apropiadas para construir los muros de tierra.

La construcción con tierra, además de ser sencilla y económica, presenta otras ventajas que la hacen atractiva para lograr viviendas ambientalmente responsables. Se trata de un material que se ha usado desde hace milenios (aproximadamente desde los 8,000 años a. c.) en diversas partes del mundo donde se daban las condiciones ambientales, y disponibilidad de suelo y agregados necesario para ello. Aún hoy día es ampliamente usada en muchas partes del mundo como un material de construcción importante.

La construcción con tierra ha tenido una aceptación importante en la sociedad, se tienen registro de estructuras que se han construido en varias partes del mundo, algunos con arquitectura que vale la pena

conservar y que han sido protegidos por la UNESCO para conservar su diseño estructural, arquitectónico y sus metodologías constructivas, tal es el caso de la Escuela San José en Cuenca, Ecuador, donde se hizo un análisis estructural y constructivo para ser restaurada ya que es un edificio con un sistema de construcción mixta de ladrillos de arcilla cocida y tierra cruda (Piedra, 2018). Construcciones como estas demuestran que las estructuras de tierra cruda pueden ser efectivas en seguridad y durabilidad, con la ventaja de poder rehabilitarlas con una intervención de costo bajo y con técnicas de fácil aplicación para quien desarrolla la restauración.

## **DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO**

### **METODOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA**

A consecuencia de la necesidad que tiene la humanidad para protegerse de la intemperie y generar un espacio de privacidad se ha desarrollado la vivienda, que en sus inicios los materiales usados para su construcción fueron tierra. En la actualidad el construir con tierra puede llevar a decir que la estructura resultante es débil en su capacidad de soportar cargas gravitacionales o laterales, pero se debe tener conciencia en que la información de cálculo, análisis estructural e identificación y búsqueda de fallas de los materiales o sistemas constructivos son de experiencia empírica (Guerrero, 2007). Algunos daños que se han presentado en las estructuras con tierra por la acción del paso del tiempo, la consecuente fatiga y deterioro de sus componentes, o bien las demandas de capacidad ante eventos dañinos como pueden ser los terremotos o huracanes, no son graves en comparación con los daños en estructuras de materiales industriales ya que las estructuras de tierra dejan fuentes de información valiosa para determinar el comportamiento de los edificios

y no pérdidas humanas mayores a las de las estructuras modernas. La evidencia de los efectos de fenómenos naturales ha permitido aprender tanto de los fracasos de estructuras históricas, como de los éxitos que alcanzaron (Guerrero, 2007).

De las metodologías existentes para construir con tierra se encuentran el adobe, el tapial y el bahareque, de estas técnicas constructivas con tierra en la Comarca Lagunera se han encontrado únicamente la construcción con adobe, quizá por ser la metodología más conocida, más fácil de elaborar y posiblemente por ser considerado el más resistente. A pesar de no existir en la región estructuras de tapial en este trabajo se propone usar la construcción con tierra usando la metodología de tapial porque puede alcanzar los mismos resultados estructurales que tiene el adobe y por consecuencia la misma resistencia a la intemperie, aunado a lo anterior se puede obtener una mejor apariencia arquitectónica al ser acabado de tierra.

La diferencia entre el tapial y el adobe se encuentra en la compactación de la tierra ya que el tapial es tierra comprimida y el adobe no, por lo tanto, en este trabajo se propone construir muros de tierra más resistentes que las de adobe, el tapial tiene un problema de apariencia en un muro alto, ya que la compactación se hace por capas de 20 cm de espesor y entre capa y capa se genera una junta fría que termina en un agrietamiento, por lo tanto, para evitar esta grieta se propone usar tierra compactada y reforzada con carrizo (*phragmites australis*) para que sirva como elemento de anclaje entre las capas de tierra. Se usa el carrizo por ser una planta perenne perteneciente a la familia de las gramíneas que la vuelve una planta de fácil acceso y ha sido de vital importancia para el desarrollo humano, puesto que habitan en nuestro planeta en mayor abundancia que cualquier

otro grupo de plantas, con una estimación de 600 géneros y 7,500 especies (Peter 2009).

### CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para la obtención de la tierra se eligieron dos bancos de materiales, uno propuesto por Gómez *et. al.* en 2016, el banco de materiales está ubicado en la Ciudad de Lerdo Durango, una ciudad de las que conforman la Comarca Lagunera. Se elige este lugar por la facilidad de extracción, porque ahí se estaba realizando la construcción de un fraccionamiento de viviendas y la tierra había sido removida con maquinaria pesado, se había removido la capa vegetal que tiene todo terreno natural. Para la recolección del suelo se consideró que la capa vegetal corresponde a los primeros 20 cm de un terreno y este suelo se desprecia. El otro banco de materiales se localiza en la ciudad de Matamoros Coahuila, otra de las ciudades que forman la Comarca Lagunera, la distancia entre esas dos ciudades es aproximadamente 30 km. A las muestras de suelo que fueron extraídas se les realizan las pruebas físicas para definir las dosificaciones de agregados necesarios para realizar las mezclas y finalmente los muros.

En la figura 1 se observan los bancos de materiales del suelo, a pesar de que el suelo ya no contenía la capa vegetal se hizo un pozo de aproximadamente 20 cm de profundidad y de ahí se tomó la muestra inalterada, antes de realizar las pruebas de laboratorio al suelo se observa que es adecuado para construir los muros, porque no tiene granos de dimensiones altas, no contiene piedras ni basura, esto sucede en los dos bancos de materiales comprobando que el suelo de la Comarca Lagunera es uniforme en toda la región, es decir, tiene la misma apariencia, en la figura 1 se puede ver que su textura y color es muy parecido.

### ENSAYES DEL SUELO

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos



Figura 1. Bancos de Materiales.

de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg o límite líquido y límite plástico (Juárez, 2005).

El procedimiento para obtener el límite líquido consiste en pasar una muestra de suelo por la malla número 40 (4.2 mm), se toman 100 gr de suelo que pasan esa malla, después se coloca en un recipiente y se agrega agua para crear una mezcla de tierra y agua, se pone una capa de 1 cm de espesor aproximadamente en la copa Casagrande previamente calibrada y colocado el contador en ceros, como siguiente paso se hace un corte con el ranurador en el centro de la capa de suelo colocado en la copa Casagrande y se busca el número de golpes necesarios para que la ranura se cierre. En esta prueba, el número de golpes que reciba el suelo colocado en la copa Casagrande, son los que ayudarán a determinar el límite líquido y con ello definir qué tipo de suelo es. Luego de que la ranura se cierra, se toma una muestra de la mezcla de aproximadamente 10 gr, para secar a una temperatura de 240 ° C por un lapso de 24 horas, de este modo, se determina el peso seco de cada una de las muestras. Se determina los pesos de las muestras húmedas y secas para obtener el límite líquido aplicando la ecuación 1, donde  $W$  = % de agua,  $W_h$  = peso suelo húmedo y  $W_s$  = peso suelo seco (Crespo 2004).

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

El límite plástico es el contenido de humedad que corresponde a una frontera convencional entre el estado plástico y semi-sólido, en el cual el suelo puede enrollarse en bastoncitos de 1/8" de diámetro (Delgado 2012). La prueba consiste en tomar una muestra de la mezcla de suelo fino y agua preparada en la prueba de límite líquido, el requisito es que la mezcla pueda ser manejada manualmente, por lo tanto, es necesario

agregar poco a poco suelo seco hasta obtener la textura sólida que se necesita, esto con el fin de crear rollos en una base lisa de cristal con dimensiones de 5 cm de largo y 3 mm de espesor aproximadamente, estos se pesan para obtener su peso húmedo y sometidos a una temperatura de 240 °C por 24 horas para determinar su peso seco (Crespo 2004).

Con la Ecuación 1 se determina el límite líquido para la muestra de suelo extraído de ciudad Lerdo Durango, con resultado de 11.9%, el límite líquido de la ciudad de Matamoros Coahuila es 9.5%. Con los resultados de los pesos de las muestras de límite plástico se grafican y se obtienen que para el suelo de ciudad Lerdo, Durango corresponde a un suelo de clasificación limo-arcilloso (CL - ML). Para el suelo extraído de la ciudad de Matamoros, Coahuila el resultado fue el mismo, suelo limo-arcilloso (CL - ML), esta clasificación corresponde a suelos con cantidades similar de limos y arcillas, por lo tanto, es necesario estabilizarlo agregando granos de mayor dimensión como arena para conseguir una mezcla equilibrada entre granos finos y granos gruesos, para que pueda ser usado en la construir muros de tierra comprimida.

De la prueba de granulometría se obtiene que aproximadamente el 13.8% del suelo es arena, este porcentaje es considerando bajo y es necesario agregar un poco de arena para lograr aglutinar todos los granos del suelo. Con los resultados de límites de Atterberg y de granulometría se proponen las dosificaciones de los agregados para la mezcla de suelo. En la tabla 1 se muestran las cantidades de suelo, arena, cal y agua propuestas, en los materiales se agrega cal para estabilizar el suelo y poder obtener una compactación adecuada al momento de realizar los muros. En la tabla 1 la unidad de medida en las dosificaciones los botes equivalen a una cubeta de 19 litros.

**TABLA DE DOSIFICACIONES**

Muestra	Tierra	Arena	Cal	Agua
1	4 botes	2 botes	1/3 de bote	1/2 bote
2	4 botes	1 bote	1/3 de bote	1 ½ bote
3	4 botes	½ bote	1/3 de bote	1 ½ bote
4	4 botes	¼ bote	1/3 de bote	1 ½ bote

Tabla 1. Dosificaciones de las mezclas propuestas.



Figura 2. Corrugado en carrizo, diferencias de armado y colocación de refuerzo.

## CONSTRUCCIÓN DE ESPECÍMENES

Para obtener una mezcla homogénea con las dosificaciones de la tabla 1, se deben cuidar que la tierra y arena estén libres de cualquier residuo como roca, materia orgánica o basura, por lo tanto, el suelo se pasa por una criba y se usa únicamente el suelo y la arena, se mezclan es seco y después se agrega agua para obtener una mezcla que sea manejable para agregar el suelo en la cimbra y compactar adecuadamente. La cimbra que se usa es madera de primera clase con dimensiones de 1m X0.7m X0.3m (Gómez *et. al.* 2016), se usa madera por ser un material que puede adaptarse a las dimensiones deseadas y por la facilidad de absorber el desmoldante que se agrega para que no se adhiera al elemento.

Se proponen dos configuraciones de armado, la primera es carrizo vertical simulando una varilla ahogada, la función del carrizo es lograr la adherencia entre las capas de tierra, el carrizo es un elemento liso que dificulta la adherencia entre él y la tierra, para garantizar este fenómeno se

agregó alambre recocado al alrededor a una separación entre vueltas de 2 cm como se muestra en la figura 2, este alambre hace la función de un corrugado y así la adherencia se asegure. Para la segunda propuesta el carrizo forma una retícula, simulando una malla de 15 cm x 15 cm, para formar la malla en la intersección de los carrizos se usó también alambre recocado para unirlos (figura 2).

El objetivo de colocar el carrizo en dos formas distintas es determinar cuál es la configuración más óptima para unir las capas de tierra en el método constructivo propuesto, aunado a lo anterior los armados pueden ayudar a absorber los esfuerzos de tensión que se presenten en el muro debido a la flexión provocados por las cargas laterales o efectos de temperatura. Como primer intento el refuerzo de carrizo se coloca al centro de su sección transversal, para garantizar que el armado este completamente ahogado en la tierra, esto ayuda a protegerlo de la intemperie y evitar daño por efectos de la intemperie.

Para la construcción de los muros en primera instancia se usa suelo extraído de Lerdo Durango, se mezclan los agregados indicados en la tabla 1 en seco y se va agregando agua hasta lograr una mezcla manejable, se vierte en la cimbra, llevándolo por capas de 4 a 5 cm de espesor para lograr una compactación suficiente en el suelo (la compactación es manual), ya que el buen comportamiento de un muro a compresión y flexión depende de la compactación de la tierra, al compactar por capas se genera una junta fría entre ellas y puede terminar en un agrietamiento entre una y otra, esto se subsana con la colocación del carrizo. En la figura 3 se muestra la apariencia que se logra en el muro y es notorio como la apariencia que tiene es adecuada arquitectónicamente.

Los muros se fueron monitoreando día a día, en los primeros 2 días no presentaron ningún tipo de cambio o alteración, pero

en el tercer día de secado a la intemperie los muros presentaron agrietamientos en las caras laterales como muestra en la figura 4. En la figura 4 se presentan los resultados de dosificación 1, la imagen de la derecha muestra el agrietamiento del muro que tiene carrizo en retícula, la imagen del centro la que tiene carrizo vertical y en la izquierda el muro que no tiene refuerzo. Es notorio como el muro que no tiene carrizo se desmorona fácilmente y los que tienen refuerzo presentan un agrietamiento en la ubicación de este. Era de esperarse que los muros fabricados con la dosificación 1 se desmorone porque, es la que tiene mayor cantidad de arena según la tabla 1, en las dosificaciones 2, 3 y 4 se disminuye la cantidad de arena y los resultados se muestran, en los muros donde se va disminuyendo la cantidad de arena y no tienen refuerzo de carrizo son más resistentes al desmoronamiento.



Figura 3. Apariencia de muro.



Figura 4. Agrietamiento en muros con suelo de Lerdo Durango.

Una vez que se detectó que las dosificaciones 1 y 2 presentaban valores bajos de resistencia a compresión y consistencia del muro se decidió que para el suelo de la ciudad de Matamoros Coahuila únicamente se realizaron muros con la dosificación 3 y 4. En la figura 5 se muestran los resultados encontrados en el suelo de la ciudad de Matamoros Coahuila, es notorio que en este suelo también se presenta un agrietamiento importante al igual que en el suelo de la ciudad de Lerdo Durango.

### ENSAYES A COMPRESIÓN

Luego de construir los muros con las diferentes dosificaciones de la tabla 1, se realizaron las pruebas de resistencia a compresión, de cada dosificación se labraron 3 especímenes, lo que quiere decir que existen 3 muestras de cada dosificación para ensayarse a compresión, la dosificación 1 no se agrega en los ensayos a compresión debido a que se demostró que se desmoronaba fácilmente sin aplicar ninguna carga, por esta razón se descartó ensayar muestras de esta dosificación.

En la tabla 2 se muestran los resultados a compresión obtenidos de los ensayos para las dosificaciones 2, 3 y 4. En la tabla 2 se presenta la resistencia a compresión, la carga a la primera fractura y la carga máxima alcanzada por los especímenes. Se puede observar en esta tabla que la dosificación que alcanza la resistencia a compresión más alta y la carga de fractura más grande es la que tiene menor cantidad de arena correspondiente a la dosificación 4.

Debido al agrietamiento que presentaron los muros con el suelo de Matamoros Coahuila, se decidió no hacer el ensayo a compresión en estos muros suponiendo que la resistencia es la misma en los dos suelos porque tienen la misma clasificación y el mismo patrón de agrietamiento, por lo tanto, el enfoque es evitar el agrietamiento en los muros construidos con el suelo de Lerdo Durango. Nace la hipótesis que el agrietamiento es por la contracción del suelo al momento de secarse y se revisa la contracción al secado del suelo, encontrando que corresponde al 4% y se considera que el agrietamiento no es a causa de la contracción.



Figura 5. Agrietamiento en muros con suelo de Matamoros Coahuila.

No. De dosificación	2	3	4
Resistencia final (kg/cm <sup>2</sup> )	8.265	11.94	12.97
Primera fractura (Ton)	0.23	0.34	0.35
Carga máxima (Ton)	0.432	1.00	1.03

Tabla 2. Resultados de ensayos a compresión con suelo de Lerdo Durango.

Otra posible causa del agrietamiento puede ser el curado de la tierra, para revisar este efecto se construyen tres muros a los que se les aplica el curado en un lapso de 24 horas, el primer muro fue curado en tres ocasiones, el segundo en dos ocasiones y el tercero una vez, en los tres casos la cimbra se retiró después de 24 horas de haber construido el muro. Los resultados fueron positivos ya que en ninguno de los tres casos el muro se agrieta, por lo tanto, la razón del agrietamiento es debido a que la cimbra se estaba retirando al momento de terminar de compactar la tierra.

### **COMENTARIOS FINALES**

Se puede mencionar que es posible construir muros de tierra vertical comprimida, pero es necesario determinar las características del suelo que se desea usar, esto para determinar el porcentaje de arena que contiene y poder establecer la cantidad de arena que se debe agregar a la mezcla. El carrizo cumple con el propósito de refuerzo vertical, primero porque logra adherirse perfectamente a la tierra con el alambre recocado que tiene alrededor y también porque logra evitar el agrietamiento en los muros entre las capas de tierra. El sistema de adherencia propuesto funciona correctamente ya que se comprobó que los carrizos no se separan de la tierra ante una fuerza de tensión.

### **RESUMEN DE RESULTADOS**

Las características del suelo de la Comarca Lagunera son uniformes porque en los 2 bancos de materiales se obtuvo la misma clasificación li-arcilla (CL.ML) a pesar de estar a una distancia aproximada de 30 km. La resistencia a compresión de 12.97 kg/cm<sup>2</sup> encontrada es adecuada para construir muros en viviendas de baja altura (un nivel). El carrizo cumple satisfactoriamente con el

objetivo de unir capas de suelo en los muros y absorber los esfuerzos de tensión que se puedan presentar por efecto de la flexión, los muros no se agrietan si se deja la cimbra por lo menos 24 horas después del colado.

### **CONCLUSIONES**

Con los resultados encontrados se puede concluir que es factible construir muros de tierra vertical comprimida con suelo de la Comarca Lagunera, el suelo y el refuerzo que se propone son adecuados para tener un comportamiento factible ante las cargas gravitacionales y la posible flexión que se pudiera presentar, la adherencia y la apariencia también se garantizan. En este trabajo se busca que los muros sean aparentes, es decir, que no tengan ningún acabado. Finalmente, si se logran construir viviendas con esta metodología se reducirá el gasto de energía para mantener un confort adecuado al interior de las viviendas debido al aislante térmico que tiene la tierra.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda construir un muro a escala 1:1 para verificar el buen comportamiento del modelo ante la demanda de cargas, medir el rendimiento de construcción y buscar la eficiencia económica, de producción y estructural para que sea competitivo con los procedimientos tradicionales.

## REFERENCIAS

- Crespo V. C., "Vías de Comunicación, Camino, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos", Editorial Limsa, Tercera Edición, 2004. ISBN: 968-18-4849-7.
- Delgado T. D., "Determinación de límite Líquido y Limite plástico", apuntes de Mecánica de Suelos I, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 14 de junio de 2012.
- Gómez T. S., Ponce P. C., Quiroa H. A., "Propuesta de Vivienda Vertical de Bajo Impacto Ambiental" Tesis de Licenciatura en la escuela de Arquitectura unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila, mayo 2017.
- Guerrero B. L. F., "Arquitectura en tierra Hacia la recuperación de una cultura constructiva", Journal of Cultural Heritage Studies, Vol. 20 No. 2, 2007, Bogotá Jul/Dic. ISSN 1657-9763.
- Juárez, B. E., Rico R. A., "Mecánica de suelos tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de suelos" Editorial Limusa, 2005, ISBN: 968-18-0069-9.
- Peter R. W. Gerritsen, Claudia Ortiz-Arrona, Rodolfo González-Figueroa, "Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la costa sur de Jalisco, México", Economía, sociedad y Territorio. Vol. 9, No. 29, 2009, Toluca ene/abr 2009, ISSN: 1405-8421.
- Piedra L. C., Achig-Balarezo M. C., Caldas F. V., Zalazar S. I., Cardoso M. F. "Analysis and Proposal to Retrofit the Traditional Construction Systems (Earth) of the Former San José School, Cuenca, Ecuador", Structural Analysis of Historical Constructions, Vol 18, septiembre 2018, Pp. 147-152, ISBN: 978-3-319-99440-6.