

Mtra. María de Jesús Gómez Cruz

Directora de la División de Ciencias y Artes para el Diseño  
UAM Xochimilco

## INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

Universidad Autónoma Metropolitana Campus Xochimilco

Laboratorio de materiales de la universidad Autónoma  
Metropolitana Campus Xochimilco

Periodo: 19 de enero de 2015 al 1 de febrero de 2016

Proyecto: Desarrollo de materiales y técnica de construcción de  
bajo impacto ambiental para el diseño arquitectónico y la  
conservación del patrimonio edificado. Tierra

Clave. 055.14.6.2014

Emmanuel Emiliano Nava Pinzón

Matrícula: 208218641

Licenciatura: Arquitectura

División de Ciencias y Artes para el Diseño

Tel: 7353032001

Cel.: 7351777239

Correo electrónico:

[emmanuelemilianonava@gmail.com](mailto:emmanuelemilianonava@gmail.com)

# Informe del servicio social

## **Emmanuel Emiliano Nava Pinzón**



**Proyecto en el estado  
de Morelos realizado  
en tierra compactada**

---

## Introducción

Como parte del proyecto de conservación del patrimonio construido en tierra del laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco se llevaron a cabo diversas actividades que han servido para comprender de mejor manera la forma en que funciona la tierra en los edificios construidos, mejorar las técnicas para construir nuevos y desarrollar mejores técnicas para preservar las construcciones existentes. Mi aporte al

proyecto ha sido principalmente en la construcción con tapia pues es un sistema constructivo que empezó interesarme desde muy temprano en mis estudios de arquitectura cuando realicé una investigación en literatura para construir un tapial de manera externa a la universidad, posteriormente tuve el gusto de conocer al doctor Luis Fernando Guerrero Baca por medio de un conocido que estaba en ese momento desarrollando también proyecto en tierra compactada en la Universidad Nacional Autónoma de México. Cuando llegó el tiempo de realizar mi servicio social me enteré por medio de la lista de proyectos que otorga la dirección del servicio social de la división de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana que el doctor Luis Fernando Guerrero Baca tenía a su cargo un proyecto donde podía realizarlo llamado “conservación del patrimonio construido, Tierra”, así que lo contacté para saber si había cupo para mi en su proyecto, la respuesta fue positiva y poco tiempo después inicié mi colaboración en un proyecto que ha aportado mucho a mi vida y a mi desarrollo profesional.

## Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general del proyecto y de mi servicio social en él fue ayudar a encontrar mejores técnicas de construcción y conservación del patrimonio construido en tierra colaborando en diferentes actividades dentro y fuera del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco. El proyecto forma parte de uno mas grande y de una división dentro de la universidad llamada “Conservación del patrimonio construido”.

El objetivo particular de mis actividades fue ayudar a la caracterización de tierras y suelos de distintas partes del país para encontrar su composición en cuanto a la cantidad de arena, limos y arcilla que contienen y saber cómo construir con ellas. Asimismo se me encargó realizar un manual de autoconstrucción con tierra compactada para ayudar a que la gente común y corriente conozca este sistema constructivo con un lenguaje accesible y puedan construir por ellos mismos alguna estructura en tierra compactada.

Otro de los objetivos particulares fue el de aprender y mejorar las técnicas de construcción con tierra para aplicarlas en proyectos de construcción.

## Metodología utilizada

Para la caracterización de tierra se analizaron muestras por medio del método de precipitación en agua de la tierra para de este modo conocer la composición de ésta según su contenido de arena, limo y arcilla. Las muestras analizadas fueron traídas por distintas personas desde varios lugares del país y se les realizaron pruebas de compresión para determinar su capacidad de carga con la simple compactación, mezclando con algunos agregados y con distintas concentraciones de agua.

Para la realización del manual de autoconstrucción con tierra compactada me apoyé en bibliografía así como en la experiencia y experimentos realizados en el servicio social dentro del laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana y en la planta piloto del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en la unidad Zacatenco.

Todo lo anterior sirvió para aprender y mejorar las técnicas de construcción con tierra y aplicarlas en proyectos de construcción.

## Actividades Realizadas

Las actividades realizadas en el Laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco comenzaron por la búsqueda de muestras de tierra, para lo cual me apoyé en amigos, familiares y conocidos para conseguir muestras del estado de Morelos, México y Querétaro. Les pedí alrededor de un kilogramo de tierra aunque de algunos



Muestras que se elaboraban para ser probadas en la celda de carga

de ellos recibí hasta 25 kg, de los cuales tuve que descartar

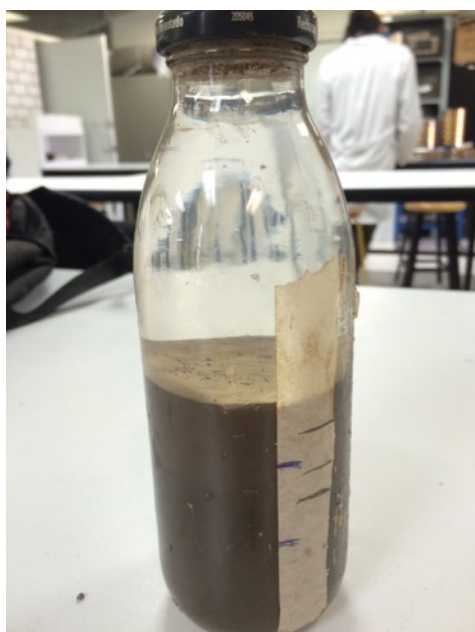
gran parte pues era demasiada y no había donde guardarla, además de que su transporte y almacenamiento se dificultaba. Las muestras obtenidas fueron guardadas en bolsas de plástico y almacenadas en un lugar seco para alterar lo menos posible su contenido de humedad. Después se deshicieron a



Realizando la remoción de piedras grandes de las muestras de tierra

mano los terrones contenidos en ella y se retiraron piedras mayores a 1/2 centímetro de diámetro aproximadamente a mano. Antes de abrir las bolsas para realizar la actividad de separación de piedras grandes y desintegración de terrones las bolsas fueron etiquetadas con el lugar de donde provenían y la profundidad aproximada de donde se habían obtenido.

Posteriormente se consiguieron botellas de vidrio de entre 300 y 500 ml a las cuales se les agregó la tercera parte de su capacidad en tierra de las diferentes muestras obtenidas para



después ser llenadas en su totalidad con agua, fueron tapadas y agitadas. Se observó el tiempo que tardaron en precipitarse los componentes de la tierra; durante los primeros 10 segundos se observa la cantidad de arena contenida en la muestra, ahí se traza una raya en la botella, luego se dejan pasar 10 minutos y hasta donde haya precipitado la tierra se traza otra raya, esa representará la cantidad de limos en la muestra, de ahí en adelante todo lo que precipite será arcilla. A esto se le llama método de la botella y a continuación describiré con

**La prueba de la botella donde podemos ver las distintas marcas una vez precipitada la tierra**

mayor precisión el proceso que se realiza y los pasos a seguir:

1.- Ponemos la tierra dentro de la botella, no debe ocupar mas de la tercera parte del espacio disponible dentro de ella, es decir, si dividimos la botella en tres pedazos la tierra no debería sobrepasar la primera marca

de abajo hacia arriba.

2.- Agregamos agua hasta llenar la botella y la tapamos

3.- Agitamos muy fuerte la botella por aproximadamente 1 minuto o hasta que la tierra se disuelva muy bien en el agua.

4.- Ponemos la botella sobre una superficie quieta y plana y al soltarla empezamos a contar hasta diez, aproximadamente 1 segundo por número. En nuestra botella se va a ver una clara separación entre la parte de tierra que se ha asentado y la que sigue dando vueltas en el agua. Al terminar los diez segundos marcamos esta separación, es decir, la altura hasta donde ha llegado la tierra asentada.

5.- Sin volver a mover la botella, dejamos pasar diez minutos contados con reloj o cualquier cosa que permita medir minutos. Para este momento la cantidad de tierra que ha caído será mayor, debemos marcar hasta donde se ha llenado en este momento la botella de tierra.

6.- Sin mover la botella, dejamos que se asiente toda la tierra, para que esto suceda pueden pasar desde unas cuantas horas hasta un par de días, el agua deberá verse mas o menos limpia al asentarse toda la tierra.

La prueba de la botella ha terminado.

La primera marca que hicimos en la botella representa la cantidad de arena presente en la mezcla, entre esa primera marca y la segunda está la cantidad de limo, que es el tamaño mediano de grano presente en la tierra, de la segunda marca a donde el agua se vuelve clara otra vez es la cantidad de arcilla, es decir, el tamaño mas pequeño de grano.

La descripción anterior es parte del manual de autoconstrucción que desarrollé a lo largo de la realización de mi servicio y en él puede verse para qué sirve y lo que hay que hacer de acuerdo a los resultados obtenidos.

Se realizaron también pruebas de aplanados de tierra, con los cuales se aplanarían unos módulos de prueba dentro de la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios

Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Zacatenco. El proceso para los aplanados era el siguiente:

1.- Con las muestras de tierra se hacía una mezcla con diferentes concentraciones de cal y diferentes humedades, las cuales se controlaban midiendo el peso de agua o de cal añadido a la mezcla.

2.- La mezcla hecha en el paso 1 era aplicada a unas paredes de concreto de prueba dentro del Laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco en pequeños cuadrados de 10 cm de

lado uno a lado del otro y se le escribía con una pluma en una cinta que se pegaba a lado de las muestras indicando la fecha, contenido de agua, contenido de cal. Estas muestras se

dejaban ahí por varios días para ver como respondía esa mezcla al paso del tiempo, la lluvia y el sol.

3.- Algunas muestras se despegaban por completo del concreto a los pocos días o quedaban completamente agrietadas, de esas muestras se tomaba nota y las mezclas eran desechadas, las muestras mas resistentes se llevaron a probar a la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Zacatenco.

En la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional







**Primeras pruebas para los aplanados en la planta piloto**

campus Zacatenco aplicamos los aplanados que he descrito mas arriba, hacíamos mezclas usando la tierra del sitio, al revolvíamos con baba de nopal, y pasto seco cuya longitud había sido previamente controlada, esta mezcla se aplicó lanzando el lodo contra las paredes de la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios

Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Zacatenco y después aplanándolas con pequeños bastones de madera. Esa actividad se realizó durante varios días pues la primera vez que hicimos el trabajo, aparentemente por la concentración de cal que había sobre la pared, se botaron y se cayeron todos los aplanados que habíamos hecho.

La segunda vez que hicimos los aplanados repetimos todo el proceso, tuvimos que separar la tierra de otra tierra que estaba en los montones cerca de la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Zacatenco, los cribamos y los pusimos en cubetas para realizar la mezcla con agua, baba de nopal y pasto de longitud controlada. mezclábamos muy bien todo teniendo cuidado de no agregar demasiada agua pues con demasiada agua ya no pegaban los aplanados. Después lanzábamos el lodo contra las



**Aplanados ya aplicados sobre los modelos de prueba**

paredes y lo aplanábamos con pequeños bastones de madera. La actividad anterior también fue repetida durante varios días pues no nos daba tiempo de terminar en uno solo.

Otra de las actividades realizadas durante el servicio social y que no fue para nada de mi agrado fueron los largos recorridos hasta la Planta piloto del Centro de Investigaciones Y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional campus Zacatenco en metro y camiones pues queda muy lejos de donde yo vivo y tomaba hasta tres horas el viaje en un solo sentido.

La escritura del manual de autoconstrucción con tierra compactada tomó varios meses aunque no se trabajó en él todos los días, fue un proceso donde se aplicó todo lo aprendido en el laboratorio y la búsqueda bibliográfica previa, así como la investigación bibliográfica que se llevó a cabo durante el proceso de escritura, para él utilicé varias fotografías tomadas a lo largo de todo el estudio de tierra compactada y la experiencia.

Me apoyé en manuales escritos principalmente en inglés y la versión en español del manual de la red pro terra; la experiencia en el laboratorio fue de especial ayuda para comprender y explicar los procesos detrás de la construcción con este sistema constructivo. Cabe destacar que en la práctica y para diseñar el segundo sistema de cimbra que explico en el manual me apoyé de la experiencia de un maestro de obras con quien he estado trabajando y que sabe mucho de construcción, está dispuesto a enseñar lo que sabe, pero también está dispuesto a aprender lo que no sabe e intentar nuevos sistemas constructivos como el de la tierra compactada que es un sistema que él no conocía pero en el cual mostró mucho interés desde el principio.

Para mas tarde hacer pruebas de compresión para determinar la capacidad de carga de las mezclas de tierra probadas fabricábamos pequeños cubos de cinco por cinco por cinco centímetros los cuales fabricábamos a mano en pequeños moldes de bronce desarmables. Hacíamos las mezclas y metíamos un poco de tierra en el molde, mas o menos  $1/5$  de su capacidad para después compactar a mano con un pequeño bastón de madera, este proceso



**Bloque de tierra dentro de la celda de carga**

se repetía hasta llenar 4 moldes con la misma mezcla, la cual habría de probarse a la semana, quince días y un mes de haberlas fabricado respectivamente y se dejaba otra para control o por si echábamos a perder alguno de los cubos.

Al cabo de una semana se preparaba una muestra para

probarse en en la celda de carga, se limpiaba todo muy bien, se colocaba en su lugar y poco a poco se iba aumentando la carga hasta que la lectura dejara de subir, ese resultado se anotaba y se dividía entre la superficie del cubo, es decir, veinticinco centímetros cuadrados para así obtener la capacidad de carga de esa muestra específica.

A la segunda semana se preparaba una muestra para probarse en en la celda de carga, se limpiaba todo muy bien, se colocaba en su lugar y poco a poco se iba aumentando la carga hasta que la lectura dejara de subir, ese resultado se anotaba y se



**Pantalla de resultados de la celda de carga**

dividía entre la superficie del cubo, es decir, veinticinco centímetros cuadrados para así obtener la capacidad de carga de esa muestra

específica, generalmente la capacidad de carga de esa prueba, des decir, la probada a los 15 días tenía una capacidad de carga superior a la de la probada en la semana uno.

En la tercera semana se probaba la última muestra de las 4 que se probarían, se limpiaba todo muy bien, se colocaba en su lugar y poco a poco se iba aumentando la carga hasta que la lectura dejara de subir, ese resultado se anotaba y se dividía entre la superficie del cubo, es decir, veinticinco centímetros cuadrados para así obtener la capacidad de carga de esa muestra específica.

Todas las actividades realizadas durante el servicio fueron, para mi muy estimulantes e interesantes pues el tema me apasiona y espero continuar con mi desarrollo profesional sobre esta misma línea.

## Objetivos Y metas alcanzados

Realicé varias muestras y pruebas de laboratorio identificando sus características de composición en cuanto a arena, limo y arcilla.

El manual de autoconstrucción con tierra compactada fue terminado con éxito y presentado al responsable del proyecto, el Dr. Luis Fernando Guerrero Baca.

Las técnicas aprendidas y desarrolladas en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco fueron aplicadas con éxito a un proyecto actualmente construido y se logró también que los aplanados con tierra quedaran adheridos a las paredes de la planta piloto del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

## Resultados y conclusiones

La presencia de mas o menos arcilla en las tierras analizadas y caracterizadas afecta su resistencia a la humedad; asimismo el tiempo que tarda la arcilla en precipitarse afecta también la calidad de las paredes construidas, entre mas tiempo tarde en asentarse la arcilla en el

recipiente de vidrio donde se hicieron las pruebas es mas posible que la mezcla se afecte con la humedad. Sin embargo, la adición de cantidades controladas de cal y o arena reduce el efecto desestabilizante de la arcilla y mejora así sus propiedades mecánicas, teniendo mejores resultados de capacidad de carga en las muestras en cuya mezcla se había incorporado entre el 3 y el 5% de cal.

En muestras con un alto contenido de arcilla, que al tacto se sentían pegajosas, se identificó que al secarse se cuarteaban con mayor facilidad que aquellas que no se sentían tan pegajosas al tacto al estar húmedas. Se encontró que estas muestras se volvían mas estables con la adición de arena. Para efectos del manual de autoconstrucción desarrollé una tabla con valores aproximados de los agregados para ser incluidos en las mezclas y mejorar las propiedades mecánicas y resistencia a la humedad, la cual presento en la sección de recomendaciones.

## Recomendaciones

Para obtener mejores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la humedad de los muros de tierra compactada he realizado la siguiente tabla que servirá como guía y que contiene cantidades aproximadas fácilmente medibles en obra.

Tamaño de la franja de arcilla (respecto a las otras dos franjas)	Tiempo que tardó en quedar clara el agua	Cantidad de cal a agregar (por bote de tierra)
<b>Chico</b>	0 a 3 horas	500 gramos
<b>Chico</b>	3 a 12 horas	600 a 700 gramos
<b>Chico</b>	mas de 12 horas	900 gramos a 1 kg
<b>Mediano</b>	0 a 3 horas	600 a 650 gramos
<b>Mediano</b>	3 a 12 horas	700 a 800 gramos
<b>Mediano</b>	mas de 12 horas	800 a 900 gramos
<b>Grande</b>	0 a 3 horas	700 gramos
<b>Grande</b>	3 a 12 horas	800 a 850 gramos

Tamaño de la franja de arcilla (respecto a las otras dos franjas)	Tiempo que tardó en quedar clara el agua	Cantidad de cal a agregar (por bote de tierra)
<b>Chico</b>	0 a 3 horas	500 gramos
<b>Chico</b>	3 a 12 horas	600 a 700 gramos
<b>Chico</b>	mas de 12 horas	900 gramos a 1 kg
<b>Mediano</b>	0 a 3 horas	600 a 650 gramos
<b>Mediano</b>	3 a 12 horas	700 a 800 gramos
<b>Mediano</b>	mas de 12 horas	800 a 900 gramos
<b>Grande</b>	0 a 3 horas	700 gramos
<b>Grande</b>	3 a 12 horas	800 a 850 gramos
<b>Grande</b>	mas de 12 horas	900 gramos a 1.2kg

## Bibliografía

Técnicas de construcción con tierra / Célia Neves y T253 Obede Borges Faria, organizadores. -- Bauru : FEB-UNESP / PROTERRA, 2011.79 p. il Varios autores ISBN 978-85-64472-01-3

Arquitectura y Construcción con tierra. 2. Técnicas constructivas. I. Neves, Célia. II. Faria, Obede Borges. III. Título.