

## Arquitectura de tierra y extensión universitaria. Asesoramiento técnico en la construcción una obra con la técnica de tapia en Paraná, Entre Ríos

Cabrera, Santiago<sup>a</sup>; Noguera, Santiago<sup>a</sup>; Gajdosik, Kevin<sup>a</sup>; Mingolla, Giuseppe<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación y desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra – UTN FRSF)

<sup>b</sup> Cooperativa de Trabajo Cuidadores de la Casa Común, Paraná, Entre Ríos

spcabrera@outlook.com

### Resumen

En este artículo se expone una de las actividades de extensión llevadas a cabo por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF): el asesoramiento en la elaboración del proyecto arquitectónico y la construcción de una obra con la técnica de tapia, desarrollado por la Cooperativa de Trabajo Cuidadores de la Casa Común, en la ciudad de Paraná, Entre Ríos. Para ello, desde el Grupo de Investigación se realizaron ensayos de caracterización de la tierra y arena disponible y se evaluó su aptitud para ser empleada en la construcción de muros de tapia. A continuación, empleando los materiales ya caracterizados se moldearon probetas con diversos tipos y proporciones de estabilizantes (cal y cemento), sobre las cuales se realizaron ensayos de resistencia a compresión y erosión húmeda, efectuándose finalmente una propuesta de dosificación con la cual se construyó un muro testigo a escala real en el sitio de la obra. Finalmente, una vez comenzada la obra, se realizará una capacitación al personal involucrado en la construcción sobre la correcta utilización de los moldes y herramientas específicas para la ejecución de esta técnica constructiva y se realizará un seguimiento durante todo el proceso constructivo.

**Palabras clave:** Tapia, extensión, capacitación, ensayos de laboratorio

### Abstract

This article exposes one of the extension activities carried out by the Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF): The advice on the preparation of the architectural project and construction of building with the rammed earth technique, developed by the Cooperativa de Trabajo Cuidadores de la Casa Común in Paraná, Entre Ríos. To this end, the Research Group carried out characterization tests on the available soil and sand and evaluated its suitability for use in the construction of rammed earth walls. Next, using the materials already characterized, specimens were moulded using various types and proportions of stabilizers (lime and cement), on which compressive strength and wet erosion tests were carried out, finally making a dosage proposal with which a witness wall to real scale in the work site. Finally, once the work has begun, training will be given to the personnel involved in the construction on the correct use of the moulds and specific tools for the execution of this construction technique and a follow-up will be carried out throughout the construction process.

**Key words:** Rammed earth, extension, training, laboratory tests

## INTRODUCCIÓN

La Cooperativa de trabajo Cuidadores de la Casa Común es el brazo que operativiza la fuerza de trabajo del Movimiento Nacional Cuidadores de la Casa Común, el cual, desde el año 2015 capacita jóvenes excluidos con intenciones de generar nuevas condiciones que les posibiliten acceder a diferentes espacios de trabajo. Particularmente en la ciudad de Paraná, esta tarea se realiza en forma sostenida desde el año 2016 en el barrio San Martín. Allí se ha gestado un grupo de trabajadores y trabajadoras que, gracias a

la colaboración de la Fundación ECOURBANO ponen en valor en forma permanente la belleza y posibilidades de turismo comunitario de los humedales del oeste de la Provincia. Este grupo, integrado por jóvenes y adultos que, además, conocen el oficio de la construcción, gracias al financiamiento del programa Argentina Hace del Ministerio de Obras Públicas de la Nación, llevará a cabo la construcción de su nueva sede, desde la cual desarrollaran sus actividades en la ciudad de Paraná.

Esta obra se materializará siguiendo premisas de bioconstrucción, contando con una estructura de

madera, una cubierta vegetal y muros construidos con la técnica de tierra apisonada o tapia, como puede apreciarse en la Figura 1.



Figura 1: Proyecto de la nueva Sede de la Coop. Cuidadores de la Casa Común en la ciudad de Paraná.

En este trabajo se presentan una serie de ensayos realizados para caracterizar la tierra que será utilizada en la construcción de los muros de tapia de la nueva sede de “Los Cuidadores” en la ciudad de Paraná, como así también el procedimiento de moldeo de diferentes series de probetas para evaluar su resistencia a compresión, resistencia a erosión húmeda y retracción por secado de diversas dosificaciones propuestas. Realizando finalmente una propuesta de dosificación.

## MATERIALES

Para la realización de los distintos ensayos se trabajó con una muestra de 300 kg de tierra arcillosa, 1 bolsa de cemento portland CPC 40 marca Holcim, cal aérea hidratada (Andina) y arena proveniente de la ciudad de Paraná, Entre Ríos.

## Clasificación, límites de Atterberg y pasante tamiz #200

Fue necesario en primer lugar una caracterización de la muestra de tierra con la que se trabajaría. A simple vista se observó que la tierra suministrada se componía de partículas de variada granulometría (ver Figura 1); sin embargo, esto se debe a la elevada cohesión del suelo, el cual en estado seco forma grumos y terrones de diversos tamaños. Para la clasificación de la tierra se utilizaron dos métodos, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), de acuerdo con lo estipulado por la ASTM D2487-1701 [1] y el método propuesto por la Highway Research Board (HRB).

Al disgregar con mortero los terrones y realizar el tamizado húmedo, pudo determinarse que solo el 10% de la tierra presenta un tamaño de partícula superior a 75  $\mu\text{m}$  (90% pasante por el tamiz #200).



Figura 1: Distribución granulométrica aparente de la tierra.

Para conocer la plasticidad de la tierra se determinó sobre la fracción pasante por el tamiz #40 (apertura de 0,43 mm) el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, siguiendo para ello los procedimientos establecidos por la norma IRAM 10501 [2]. Además, para conocer el contenido porcentual en peso de partículas finas presentes (tamaño inferior a 75  $\mu\text{m}$ ), se realizó el tamizado por vía húmeda estipulado por la norma IRAM 10507 [3]. En la Figura 2 puede apreciarse la realización de los ensayos para determinar el límite líquido del suelo y el porcentaje pasante por el tamiz #200, mientras que en la Tabla 1 se expresan los resultados de la identificación del suelo.



Figura 2: Determinación del Límite Líquido (izq) y pasante por el tamiz #200 (der).

Tabla 1: Resultados de los ensayos de Identificación de la tierra.

Parámetro	Contenido (%)
Límite líquido	32
Límite plástico	25
Índice de Plasticidad	8
Pasante tamiz #200	90,17
Clasificación SUCS	CL - ML
Clasificación HRB	A - 4 (7)

## ENSAYOS PRELIMINARES

### Retracción

Para evaluar la retracción de la tierra provista por el comitente se realizó el ensayo de retracción estipulado por la norma neozelandesa NZS 4298:98 [4], incorporando agua hasta alcanzar el estado plástico. Además, para evaluar el efecto de la incorporación de arena en la retracción, se moldearon 3 series con diferentes contenidos de arena, cuyas dosificaciones pueden apreciarse en la Tabla 2.

Como puede observarse en la Figura 3, por cada dosificación se moldeó una probeta de 600 x 40 x 40 mm (moldes de madera) y otra de 280 x 30 x 30 mm (moldes metálicos).

Tabla 2: Dosificaciones empleadas en moldeo de las probetas para el ensayo de retracción.

Moldeo en estado plástico			
ID	Tierra (g)	Arena (g)	Agua
P-0	2500	0	710g (28%)
P-30	1750	750	550g (22%)
P-50	1250	1250	410g (16%)



Figura 3: Moldeo de las probetas para el ensayo de retracción.

En la Tabla 3 y la Figura 4 pueden apreciarse los resultados del ensayo de retracción para cada una de las dosificaciones evaluadas.

Tabla 3: Resultados del ensayo de retracción.

Molde	ID	Medida de retracción (mm)	% De retracción
Madera x 600mm	P-0	32,22	5,4%
	P-30	24,72	4,1%
	P-50	18,2	3,0%
Metálicos x 280mm	P-0	16,6	5,9%
	P-30	12,38	4,4%
	P-50	9,9	3,5%



Figura 4: Retracción final en las probetas de 600 x 40 x 40 mm con 0% (arriba), 30% (centro) y 50% (abajo) de arena.

### Resistencia a compresión

Con el objetivo de generar probetas representativas de la tapia se produjeron en laboratorio probetas cilíndricas de 5 cm de diámetro y 7 cm de altura, adoptando como parámetros de diseño los siguientes: densidad final de 1.700 kg/m<sup>3</sup> y tasa de compresión del 35%.

Para evaluar el efecto de la utilización de distintos porcentajes de estabilizantes, arena y humedad, se moldearon 9 series, cada una de ellas constituida por 6 probetas. Las dosificaciones empleadas pueden apreciarse en la Tabla 4.

El procedimiento empleado para la confección de cada una de estas probetas fue el siguiente: el material requerido para cada serie (según dosificación correspondiente) se mezcló de manera manual, primero en seco y luego incorporando el agua requerida para alcanzar el porcentaje de humedad recomendado. A continuación, se colocó dentro del molde cilíndrico la cantidad requerida para alcanzar la densidad seca establecida (264,2 g de mezcla húmeda), acomodando el material dentro del molde con los dedos. Luego, con ayuda de un pistón hidráulico se comprimió el contenido del molde para llevarlo desde su altura inicial de 11,00 cm hasta una altura final de 7,00 cm, garantizando así una tasa de compresión del 35%. Finalmente, con la ayuda del mismo pistón se desmoldó la probeta y se registraron su peso, diámetro y altura. El curado de todas las series, con excepción de la serie de control (sin estabilizantes), se realizó humedeciéndolas con agua y manteniéndolas envueltas en un film de polietileno durante 7 días. En la Figura 5 puede apreciarse el procedimiento empleado para la conformación de las probetas.

Una vez transcurrido el periodo de curado, se evaluó la resistencia a compresión de cada una de las probetas producidas, empleando como normativa de referencia la VN E-33-67 [5]. Finalmente, en la Figura 6 puede apreciarse la resistencia media a compresión (en kg/cm<sup>2</sup>) de cada serie y su desviación estándar,

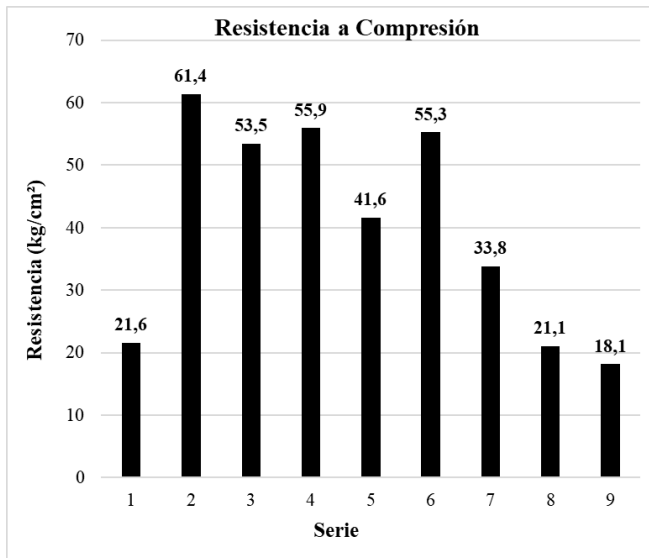
mientras que en la Figura 7 se muestra la realización de uno de estos ensayos.

**Tabla 4: Dosificación de las diferentes series de probetas cilíndricas.**

Dosificación	Tierra (%)	Arena (%)	Cal (%)	Cemento (%)	Agua (%)
1	100	-	-	-	18
2	90	-	-	10	18
3	95	-	-	5	18
4	90	-	10	-	18
5	95	-	5	-	18
6	63	27	-	10	18
7	54	36	-	10	8
8	45	45	-	10	6
9	36	54	-	10	6



**Figura 5: Proceso de moldeo de las probetas cilíndricas.**



**Figura 6: Resistencia a compresión media y desviación estándar por serie.**

Analizando el gráfico de la Figura 6 puede apreciarse como, la adición de cemento (series 2 y 3) o cal (series 4 y 5) mejoran significativamente la resistencia a compresión de las probetas moldeadas únicamente con tierra (serie 1). Además, se advierte

que al aumentar el porcentaje de reemplazo de arena por tierra en las series estabilizadas con un 10% de cemento (series 6, 7, 8 y 9), disminuye la resistencia a compresión.



**Figura 7: Realización del ensayo de resistencia a compresión sobre una probeta.**

### PROBETAS TIPO PROCTOR

Una vez evaluados los resultados del ensayo de retracción y resistencia a compresión sobre las probetas cilíndricas se moldearon 5 series de probetas de mayor tamaño, cada una de ellas con una relación arena/tierra del 40% y diferentes contenidos de cal y cemento, como puede apreciarse en la Tabla 5. El objetivo de esto es verificar la resistencia a compresión y determinar la resistencia a la erosión húmeda por pulverizado de agua a presión de las nuevas dosificaciones propuestas.

El moldeo de estas probetas se realizó empleando los moldes y procedimientos de compactación dinámica "Proctor", utilizando moldes de 101 mm de diámetro y 116 mm de alto, llenados en 3 capas, compactando cada una de ellas con 25 golpes del pisón de 2,5 kg, utilizando los parámetros del ensayo Proctor tipo I en la norma VN-E5-93 [6].

Una vez moldeadas, las probetas se llevaron a curado húmedo por 65 días (motivado por la imposibilidad de acceder a los Laboratorios por la pandemia COVID19), manteniéndose envueltas en un film de polietileno, luego de lo cual se llevaron a estufa a 105°C hasta obtener masa constante.

Finalmente, en las Figuras 8 y 9 puede apreciarse el procedimiento y los elementos empleados para la confección de estas probetas.

### Retracción lineal

Para evaluar la retracción efectiva que podría ocurrir en los muros de tapia construidos con la relación tierra/arena y los contenidos de humedad y estabilizantes propuestos, se realizó el mismo ensayo de retracción efectuado sobre las muestras de tierra en

estado plástico. Para ello se replicaron las dosificaciones A, B y C de la Tabla 5, compactando con un pisón de madera el material dentro de los moldes metálicos y de madera, buscando simular la energía de compactación entregada durante la construcción de un muro de tapia. Se respetó el mismo método de curado y secado empleado en las “probetas Proctor”. En la Figura 10 pueden apreciarse las probetas secas luego de ocurrida la contracción.

**Tabla 5: Dosificación de las diferentes series de probetas cilíndricas.**

Dosificación	Tierra (%)	Arena (%)	Cal (%)	Cemento (%)	Agua (%)
A	57	38	0	5	9
B	54	36	0	10	9
C	57	38	5	0	9
D	54	36	10	0	10
E	54	36	5	5	9



**Figura 8: Preparación de probetas cilíndricas siguiendo la metodología “Proctor”.**



**Figura 9: Probetas cilíndricas tipo “Proctor”.**



**Figura 10: Retracción ocurrida en las probetas moldeadas según las dosificaciones A, B y C luego del proceso de curado y secado.**

A pesar de presentar pequeñas fisuras por retracción, ninguna de las series presentó una retracción lineal superior al 1 %, lo cual representa una sensible diferencia respecto a la retracción ocurrida en las probetas moldeadas en estado plástico. Esto se atribuye al elevado contenido de arena y al menor contenido de agua de las probetas en estado húmedo, correspondiente con el grado de humedad requerido para la construcción de muros de tapia.

### Resistencia a compresión

Transcurrido el periodo de curado, se evaluó la resistencia a compresión de cada una de las probetas Proctor, empleando como normativa de referencia la VN E-33-67 [5]. En la Figura 11 puede apreciarse la realización del ensayo, mientras que, en la Figura 12 se exponen los Resultados de los ensayos de resistencia a compresión sobre cada una de las series ensayadas.



**Figura 11: Realización del ensayo de resistencia a compresión sobre las probetas Proctor.**

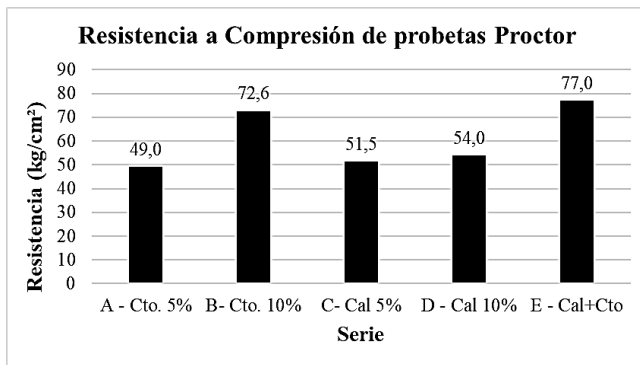


Figura 12: Resultados de los ensayos de resistencia a compresión sobre las diferentes series de probetas Proctor.

En la Figura 12 puede apreciarse claramente como las series B (10 % de cemento) y E (5% de cemento y 5% de cal) presentan las mayores resistencias medias a compresión.

### Erosión por pulverizado de agua a presión

Para evaluar la resistencia a erosión húmeda de cada serie de probetas Proctor se realizó una adaptación del ensayo de pulverizado de agua a presión estipulado por las normas neozelandesa NZS 4298:98 [4] e india IS 1725-2002 [7], para lo cual se introdujo cada probeta dentro del equipo de ensayo de manera tal que la cara expuesta al chorro de agua quede a 20 cm de la boquilla de aspersión. El tiempo de exposición de cada probeta fue de 60 minutos y la presión del agua pulverizada de 1 bar. Luego de la realización del ensayo, se midió la profundidad del patrón de erosión con una varilla metálica de 1 mm de diámetro (Ver Tabla 6).

Se advierte que las series B (10 % de cemento) y E (5% de cemento y 5% de cal) son las que presentan las mayores resistencias a la erosión por pulverizado de agua a presión.

### CONCLUSIONES

Los ensayos realizados permiten extraer las siguientes conclusiones:

El suelo analizado se trata de un limo arcilloso sin presencia de arenas. Para evitar la formación de fisuras por retracción en los muros de tapia, ésta deberá ser estabilizada mecánicamente mediante la adición de arena.

La resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de pequeño diámetro y las probetas Proctor indica que la capacidad portante de los muros de tapia a construir será suficiente para los estados de carga a los cuales estarán sometidos (muros no portantes).

Para evitar problemas de erosión por lluvia o viento, la tapia deberá estabilizarse con cal o cemento, aditivos que, además de brindar estabilidad frente a la acción del agua, aumenta la resistencia a compresión.

Tabla 6: Resultados del ensayo de resistencia a la erosión por pulverizado de agua a presión sobre las diferentes series de probetas.

Serie	Profundidad (mm)
A	8,12
B	1,05
C	9,78
D	4,58
E	2,17

Los resultados de los ensayos realizados indican que tanto la dosificación B como la E, en las cuales se emplea una relación tierra/arena del 40% (4 partes de arena y 6 partes de tierra, en peso) y 10% en peso de cemento portland (dosificación B) o 5% de cal + 5% de cemento (dosificación E) son adecuadas para la construcción de muros de tapia expuestos a la intemperie, contando con una resistencia a compresión y erosión húmedas suficiente para la construcción de muros de tapia exteriores y portantes, minimizando la posibilidad de aparición de fisuras por retracción.

Se resalta el hecho que, una vez comenzadas las obras, se construirá un muro a escala real empleando la dosificación propuesta, el cual será empleado para la

trabajabilidad, resistencia y durabilidad de la mezcla propuesta.

## REFERENCIAS

- [1] ASTM (1985). *D2487-1701 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. American Society for Testing and Materials.
- [2] IRAM. (1977). *IRAM 10512: Mecánica de suelos. Método de análisis granulométrico*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- [3] IRAM. (1986). *IRAM 10507: Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- [4] NZS, (1998). *NZS 4298:1998 Materials and workmanship for earth buildings*. Standards New Zealand.
- [5] VN, (1967). *VN E-33-67 Ensayo de compresión de probetas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento*. Vialidad Nacional, Dirección Nacional de Vialidad.
- [6] VN, (1993). *VN-E5-93 Compactación de suelos*. Vialidad Nacional, Dirección Nacional de Vialidad.
- [7] IS, (2002). *IS 1725-1982 Specification for soil based blocks used in general building construction*. Indian Standard.