



## Caracterización Experimental del Comportamiento Elasto-plástico con Daño Continuo de un Suelo Granular Mejorado con Fibras de Polipropileno

BÓVEDA, D.N.<sup>1a</sup>; GIANNINOTO, S.<sup>2a</sup>; LÓPEZ, R.<sup>3a</sup>; BITTAR, E.J.<sup>4a</sup>; AQUINO, F.A.<sup>5a</sup>; QUIÑÓNEZ, R.A.<sup>6a</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera Civil. Email: [danie\\_boveda@hotmail.com](mailto:danie_boveda@hotmail.com)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil. Email: [sebas.gianninoto@hotmail.com](mailto:sebas.gianninoto@hotmail.com)

<sup>3</sup> Docente Investigador, Doctor en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil. Email: [rolopez@ing.una.py](mailto:rolopez@ing.una.py)

<sup>4</sup> Docente Investigador, M.Sc en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil. Email: [ebittar@ing.una.py](mailto:ebittar@ing.una.py)

<sup>5</sup> Docente Investigador, Doctor en Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Civil. Email: [aaquino@ing.una.py](mailto:aaquino@ing.una.py)

<sup>6</sup> Docente Investigador, Candidato a Doctor en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil. Email: [rquinonez@ing.una.py](mailto:rquinonez@ing.una.py)

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Asunción (UNA), Avda. Mcal. López 3492 c/ 26 de Febrero, San Lorenzo, Paraguay.

### INTRODUCCIÓN

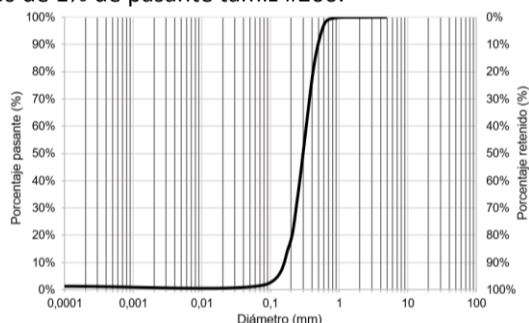
Los suelos granulares poseen en general elevada resistencia a esfuerzos de compresión y cortante, pero baja resistencia a esfuerzos de tracción; comportamiento que puede ser mejorado mediante la inclusión de fibras al suelo.

Para el estudio de los efectos del daño que sufren estos materiales se recurre a investigaciones de la fatiga de los mismos, ya que ha sido comprobado que ésta se encuentra estrechamente vinculada al estudio y análisis de la mecánica de daño.

El presente trabajo se limita a caracterizar de manera experimental el comportamiento elastoplástico con daño continuo en un suelo granular previamente reforzado con diferentes porcentajes de fibras de polipropileno, sometiéndolo a ciclos de carga y descarga.

### MATERIALES

El suelo utilizado proviene de una cantera localizada en la ciudad de Asunción-Paraguay, el mismo es extraído del Río Paraguay en una zona cercana al puente Remanso Castillo. El material se caracteriza por ser una arena limpia, de granulometría uniforme (mal graduada), con tamaño de partículas de arena que varían entre medias a finas, con menos de 1% de pasante tamiz #200.

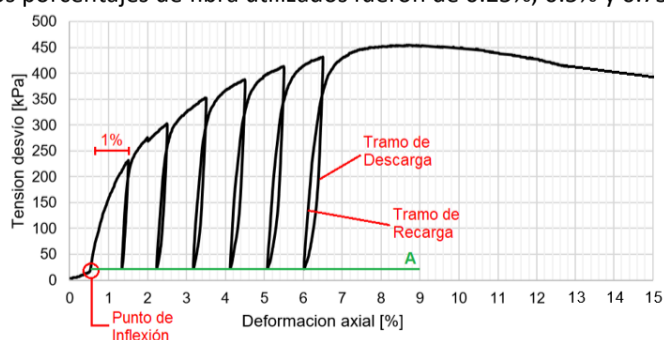


Las fibras utilizadas son poliméricas de polipropileno FibroMac® 12; con sección circular de 0.018 mm de diámetro, 12 mm de longitud, peso específico de 0.91 gr/cm<sup>3</sup> y módulo de elasticidad de 3 GPa.

### METODOLOGÍA

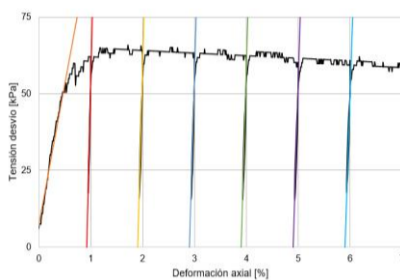
Primeramente, la caracterización de la arena; posteriormente la medición del daño mediante la variación del módulo de elasticidad, donde para ello fue utilizado un equipo triaxial capaz de realizar de manera automática ciclos de Carga-Descarga-Recarga a partir del cual fueron obtenidos los parámetros elásticos luego del procesamiento de datos.

Los cuerpos de prueba para los ensayos de compresión triaxial fueron de 50 mm de diámetro y 100 mm de altura, se utilizó humedad 11,38±0,5%, peso específico aparente seco de 16,71 kN/m<sup>3</sup> y los porcentajes de fibra utilizados fueron de 0.25%, 0.5% y 0.75%.



### RESULTADOS

En los ensayos de compresión triaxial se obtuvo un aumento de la resistencia con el aumento de la presión de confinamiento. Los valores de  $\phi$  fueron aumentando a medida que incrementaba la cantidad de fibras a excepción del caso con mayor cantidad de fibras.



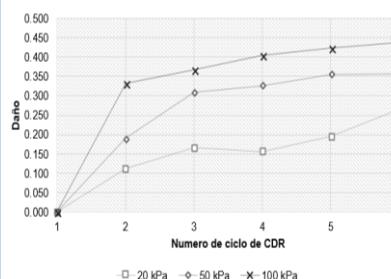
Número de ciclo	$E_{20}$		$E_{50}$		$E_{100}$	
	$E_{20}$	$E_{50}$	$E_{20}$	$E_{50}$	$E_{20}$	$E_{50}$
0	1	2,5	1,3			
1	1	1,4	1,4			
2	1	1,4	1,3			
3	1	1,4	1,3			
4	1	1,4	1,3			
5	1	1,4	1,3			
6	1	1,5	1,3			

Luego de la determinación del módulo de elasticidad para cada ciclo, el valor de Daño fue calculado utilizando la siguiente ecuación:

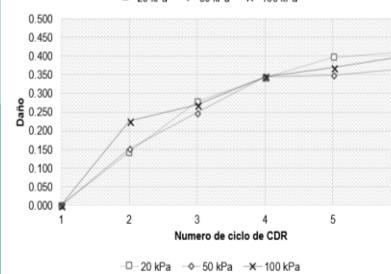
$$D = 1 - E_i / E_0$$

Siendo  $E_0$  el valor del Módulo de Elasticidad correspondiente al primer ciclo  $E_1$ , determinado por la línea roja de la primera figura.

En todos los casos se observó que el valor de  $E$  crece con el aumento de la presión de confinamiento, presentando un comportamiento similar para cada una de las presiones.



En la Tabla se muestra la relación existente entre el Módulo de Elasticidad y las diferentes presiones de confinamiento, considerando suelo-fibras.



Como puede notarse en las dos últimas figuras, siendo la primera de ellas la determinada para un suelo sin adición y la última para un suelo con 0.5% de fibras, la evolución del daño no sigue una tendencia de comportamiento, hecho que resultó de igual manera con las adiciones de 0.25% y 0.75% de fibras al suelo.

### CONCLUSIONES

La metodología utilizada para la caracterización de suelos resultó ser adecuada tanto para la determinación de los parámetros tradicionales del suelo, como para la obtención de la variación del módulo de elasticidad que fueron calculados para determinar la evolución del daño en el material utilizado.

Existe una influencia de la presión de confinamiento en la variación del módulo  $E$  independiente del porcentaje de fibras, tal que la relación entre módulos de elasticidad  $E$  para distintas presiones de confinamiento para los mismos ciclos permanece constante.

No se puede observar un patrón de comportamiento del daño exclusivamente en base del porcentaje de fibras, sino que a la par depende de la presión de confinamiento. Esto se debe, muy probablemente, a la interacción entre la matriz del suelo y las fibras que experimentan mayor adherencia al suelo.