

## Investigación Fundamental

### Arquitectura computacional para estimar propiedades mecánicas de concretos fibrorreforzados con acero, con empleo de redes neuronales artificiales

<sup>1,3</sup>Aydee Patricia Guerrero Zúñiga, <sup>2,3</sup>Silvio Delvasto Arjona, <sup>4</sup>Adrián Luis Ernesto Will, <sup>5</sup>Luis Octavio González Salcedo\*

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica, Ingeniería Eólica y Estructuras Inteligentes. <sup>2</sup>Grupo de Materiales Compuesto. <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Carrera 100 Avenida Pasoancho, Cali, Colombia. <sup>4</sup>Centro de Investigación en Tecnologías Avanzadas de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional de Tucumán, y Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina. <sup>5</sup>Grupo de Investigación en Materiales y Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, A.A. 237, Palmira, Colombia. Autor de contacto: logonzalezsa@unal.edu.co

**Palabras clave:** Redes neuronales artificiales, propiedades de concreto, fibras de acero.

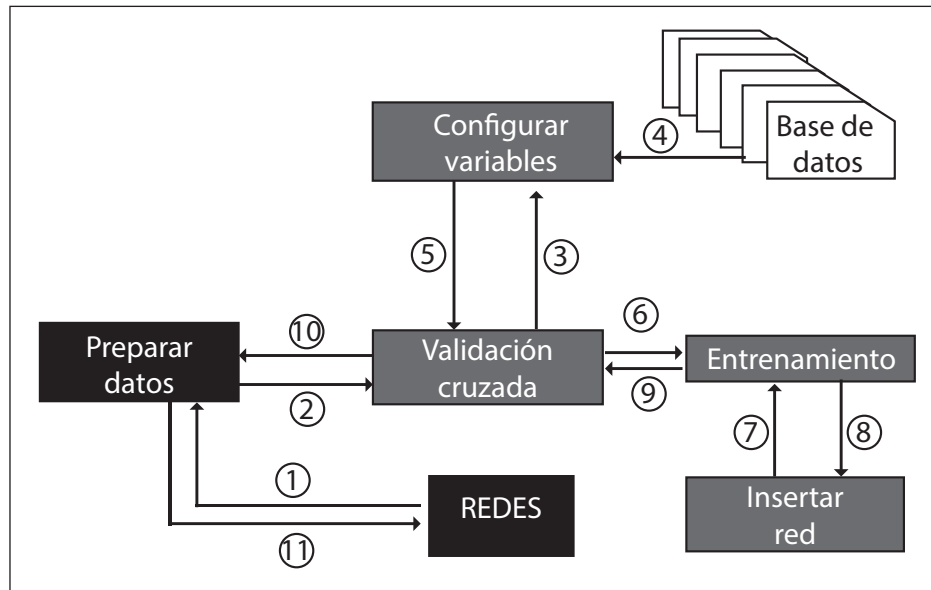
De acuerdo con Sánchez (1) el concreto o ‘piedra artificial’ es un conglomerado elaborado a partir de agregados, cemento, agua y otros componentes denominados adiciones minerales y aditivos químicos. Sus propiedades mecánicas de diseño son alcanzadas veintiocho días después de hecha la mezcla y se determina con ensayos estandarizados. El concreto es un material frágil y la incorporación de fibra le permite seguir soportando esfuerzos a pesar de haber alcanzado su máxima resistencia, por lo que experimenta un comportamiento cuasi-dúctil. La predicción de sus propiedades mecánicas se ha logrado con modelos matemáticos donde la complejidad y la alta relación de dependencia no-lineal entre las variables de entrada ha llevado a la estimación al campo de la inteligencia artificial (2). La literatura reporta diversos desarrollos con RNA para estimar propiedades en concretos planos, al ser de interés la temática en concretos reforzados con fibras de acero. En este trabajo se presenta la elaboración de una arquitectura prototipo conformada por códigos computacionales con RNA, cuyo objetivo es predecir la resistencia a compresión, tracción y flexión de mezclas de concreto reforzadas con fibras de acero.

**Base de datos para entrenamiento de la RNA.** Se usó una base de datos con una amplia información de resultados de ensayos mecánicos reportados en publicaciones y recopilados por González et al. (2). En la base cada registro es un vector de información completa con datos sobre las dosificaciones de la materia prima y características cualitativas, como el tipo de cemento, el origen de los agregados, el perfil litológico del agregado grueso y el tipo de fibra de acero. Se incluyeron en los datos tres clases de adiciones minerales: humo de sílice, ceniza volante y escoria; y dos tipos de aditivos químicos (reductor de agua y entrador de aire).

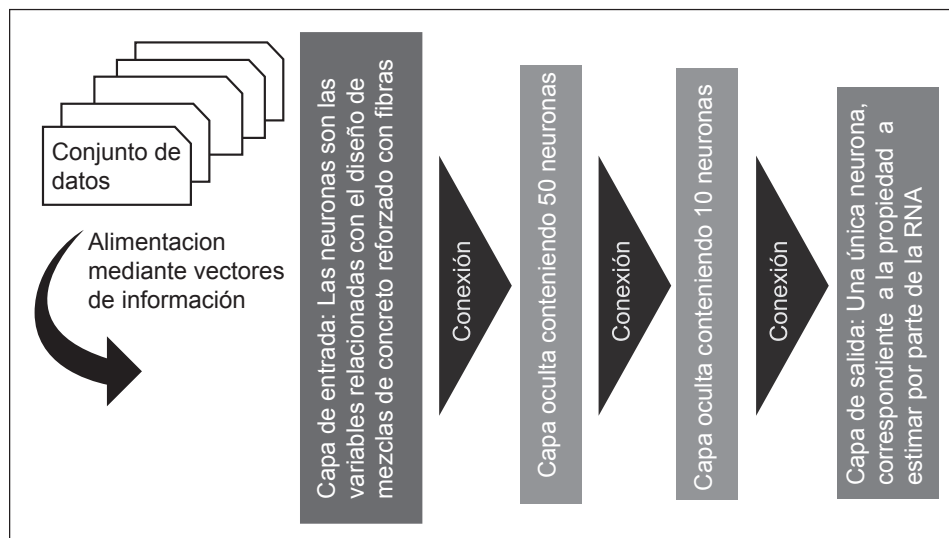
**Elaboración de la RNA.** Se elaboró un conjunto de códigos con el algoritmo computacional para la RNA usada en la estimación de las propiedades mecánicas. Como lenguaje de programación para la escritura del algoritmo se empleó MATLAB, se creó la RNA usando la caja de herramientas de redes neuronales del lenguaje mencionado, y los vectores de información fueron almacenados para su lectura en una matriz interna al programa. La tipología de la RNA correspondió a una red multicapa, se usó una metodología de aprendizaje de propagación hacia atrás y se utilizó como técnica de división de datos validación cruzada. El conjunto de códigos comprende un programa principal (REDES) y cinco auxiliares, como se muestra en la Figura 1.

**Arquitectura de la RNA.** La arquitectura de la RNA se configuró con una capa de entrada, dos capas ocultas y una capa de salida. La cantidad de neuronas en las capas ocultas se definió de acuerdo con el procedimiento establecido por González et al. (2). Para la preparación de los datos, el entrenamiento se hizo con el método del gradiente conjugado escalonado, y una vez se ejecutó el programa principal para la RNA, el entrenamiento se hizo con el algoritmo de Levenberg-Mardquardt. La conexión entre las neuronas se realizó usando una función de activación tipo sigmoidea. En la Figura 2 esquematiza la arquitectura de la RNA.

**Evaluación del desempeño de la RNA.** El desempeño en la preparación de datos se evaluó con el error cuadrático total, mientras que para las fases de aprendizaje y validación de la RNA ésta se hizo con el error promedio cuadrático y el factor de correlación.



**Figura 1.** Esquema gráfico de interrelación de los módulos dentro del conjunto de programas (principal y cinco auxiliares) para entrenar una RNA de estimación de propiedades mecánicas.

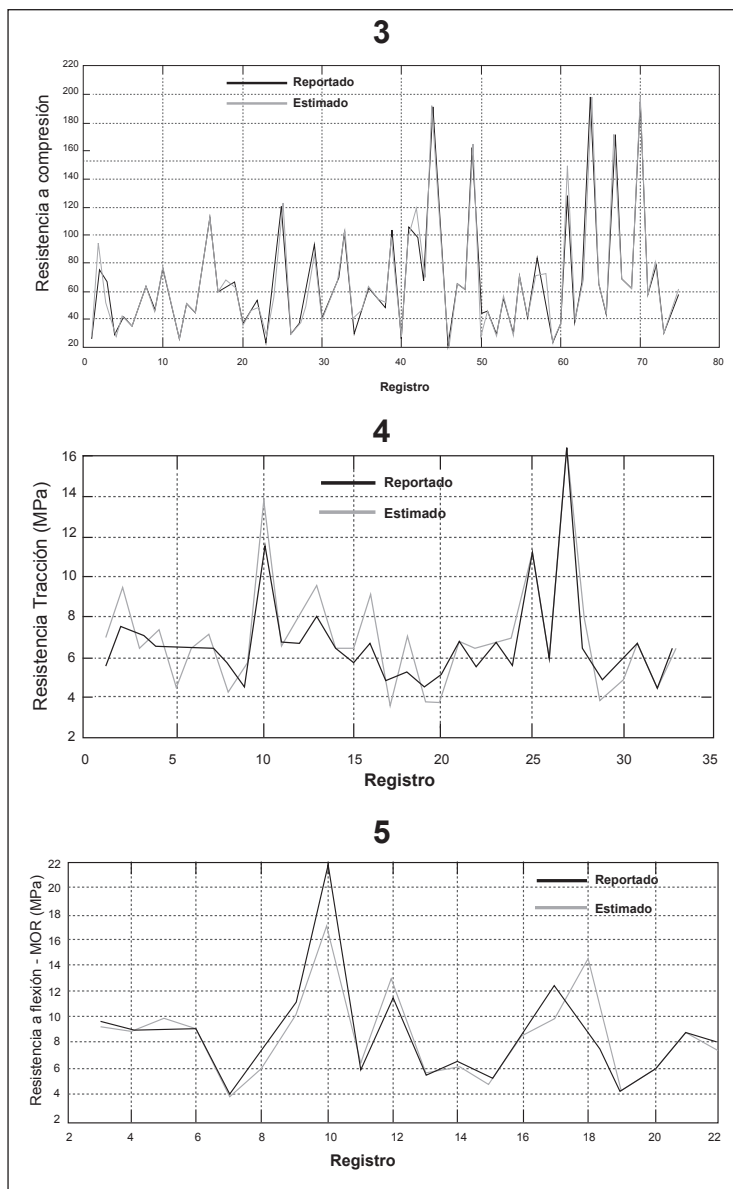


**Figura 2.** Esquema de la arquitectura de la RNA.

## Resultados

Los autores seleccionaron algunos resultados de la fase de validación computacional, obtenidos en la estimación de las resistencias a compresión, tracción y flexión, que se muestran en las Figuras 3 a 5.

En general, los resultados muestran un buen comportamiento de estimación y es significativo que los indicadores de desempeño sean adecuados en razón a la alta consideración de características en las variables de entrada, lo cual es concordante con la teoría de diseño de mezclas de concreto (1), en el que un alto número de variables relacionadas con los componentes usados influyen en las propiedades mecánicas.



**Figuras:**

- 3. Fase de validación para la estimación de la resistencia a compresión, con un factor de correlación de 0.9630.
- 4. Fase de validación computacional, para la estimación de la resistencia a compresión, con un factor de correlación de 0.9630.
- 5. Fase de validación computacional, para la estimación de la resistencia a flexión, con un factor de correlación de 0.9713.

**Conclusión**

Se elaboró un conjunto de códigos computacionales que usa la técnica de RNA para predecir propiedades mecánicas en concretos reforzados con fibras de acero. La correlación presentada en la estimación permite inferir el uso de una herramienta confiable para tal fin.

**Referencias**

- 1. Sánchez D.G., D. 2000. Tecnología del Concreto y Mortero. Santafé de Bogotá, Bhandar Editores, 349p.
- 2. González S., L.O.; Guerrero Z., A.P.; Delvasto A., S.; Will, A.L.E. 2012. Red Neuronal Artificial para estimar la resistencia a compresión, en concretos fibro-reforzados con polipropileno. Ventana Informática, 26 (Enero-Junio). En prensa.