



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

***Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global***

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO: ESTRATEGIA PEDAGÓGICA PARA EL AFIANZAMIENTO DE CONCEPTOS

María Fernanda Serrano Guzmán, Juan Carlos Forero Sarmiento, Diego Alejandro Guzmán Arias, Diego Darío Pérez Ruiz

**Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

Un diseño es una creación realizada de acuerdo a un plan. La realización de un prototipo, producto de un diseño, debe permitir que en cada uso del mismo, el individuo pueda simular nuevas situaciones y reflexionar sobre los diferentes comportamientos-situaciones problema que se pueden estudiar en este prototipo.

Una forma particular de elaborar un prototipo es considerar la información estructural, comportamental y funcional. En la estructura se consideran los materiales, la forma y la geometría que permite una solución al diseño; lo comportamental corresponde a los parámetros de medición que pueden ser obtenidos con el diseño realizado y lo funcional a las respuestas que el diseño da a los objetivos para los cuales fue construido.

Este artículo presenta el resultado de la construcción de un prototipo a escala bidimensional de un acuífero, el cual ha sido incorporado en el curso de Hidrología Subterránea, asignatura que se ha desarrollado siguiendo los lineamientos que amparan el modelo pedagógico integrado que sustenta el Proyecto Educativo del sistema Universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El uso de este prototipo permite la enseñanza de fenómenos de movilidad el agua, que se compruebe la interacción entre el medio superficial y subterráneo y que se adquieran las competencias, a escala laboratorio, con la expectativa que puedan ser extrapoladas a escala real, es decir en campo. En resumen, con este prototipo, los discentes afianzan competencias instrumentales, interpersonales y sistémicas relacionadas con la distribución del agua. Se concluye que este acuífero permite a quien interactúe con este instrumento pedagógico, el hacer uso de los preconceptos para comprender los fenómenos que están ocurriendo en el suelo y que se pueden visualizar a través de las paredes del modelo.

Palabras clave: concepto; formación investigativa; prototipo

Abstract

A design is a creation made according to a plan. The development of a prototype, as product of a design, must allow for the user simulate new situations and the comprehension of other behavior-problem situations that can be represented using the prototype.

A particular way of making a prototype is to consider the structural information, behavioral and functional. In the structure are considered the materials, shape and geometry that allows a solution to the design corresponds to the behavioral measurement parameters that can be obtained with functional design made and the answers given to the design objectives for which it was built.

This article shows the result of the construction of a two-dimensional scale prototype of an aquifer, which has been incorporated into the course of Groundwater Hydrology, a subject that has developed along the integrated pedagogical model considered in the Educational Project for the University system at University Pontificia Bolivariana.

The prototype allows the learning experience about water mobility phenomena, understand the interaction between the surface and subsurface environment and to acquire the skills at laboratory scale level, with the expectation that they can be extrapolated in the field. Summarizing, the prototype gives the students instrumental and interpersonal abilities related with water distribution. We conclude that the aquifer enables those who interact with this educational tool, the use of their preconceptions and understand the transport phenomena occurring in the soil, which is visualized through the walls of the model.

Keywords: *concept; prototype; research training*

1. Introducción

Las diferentes actividades antrópicas causan deterioro al ambiente en lo superficial y subterráneo. Las alteraciones superficiales son visibles y normalmente entendibles para la comunidad, pero los cambios subterráneos son de difícil visibilidad e inquietan a los conocedores del tema. Particularmente, la dinámica de la contaminación en ambientes subterráneos está asociada a la movilidad que pueda hacer el agua subterránea de estos contaminantes así como a la formación de extensiones de contaminación que puedan ocupar grandes volúmenes en los acuíferos, aumentando con ello el riesgo de contaminación hacia otros receptores (Serrano-Guzmán, 2008; Wadley et al., 2005; Parker et al., 2003).

El transporte de contaminante en medio poroso se estudia considerando los procesos de advección, dispersión, difusión, adsorción y biodegradación, los cuales han sido analizados a escala de laboratorio y en condiciones de campo. A escala laboratorio, estos estudios hacen uso de prototipos construidos a partir de modelos conceptuales, que permiten la comprensión de los distintos fenómenos.

Históricamente, han sido elaborados varios modelos para facilitar el estudio del movimiento de flujo en el subsuelo (Abriola y Pinder, 1985; Baehr y Corapcioglu, 1987; White y Oostrom, 2000; Kechavarzi y otros, 2005) los cuales han sido de utilidad para simular la movilidad de compuestos en el campo. Este trabajo, muestra la estrategia pedagógica utilizada para la construcción de un prototipo de acuífero que ha sido utilizado en la asignatura de Aguas Subterráneas y que ha permitido llevar el modelo pedagógico integrado (MPI), del sistema Universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana a las aulas de clase. Con el prototipo

construido, los usuarios han podido responder a preguntas relacionadas con la interacción superficial-subterránea y hacer pruebas a escala de las realizadas a nivel real.

2. Nacimiento del prototipo de acuífero

Los grupos de investigación de Detección de Contaminantes y Remediación DeCoR y el grupo de investigación en Ingeniería Ambiental Ginsa han adelantado una línea de trabajo común sobre transporte de contaminantes en medio poroso, la cual ha recibido el apoyo de Ecopetrol ICP mediante la firma de un convenio de Colaboración en que unen esfuerzos la empresa y la Universidad. Esta línea de investigación ha fortalecido también trabajos al interior de los semilleros de Ingeniería Civil SIIC y de Ingeniería Ambiental SINSA.

De esta manera, un grupo de estudiantes del SINSA están abordando temas relacionados con procesos de remediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos y modelaje correspondiente de estos suelos. Paralelamente, un grupo de estudiantes de SIIC han concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de modelos a escala en una, dos y tres dimensiones, los cuales permitirán comprender la movilidad de contaminación en el suelo.

El presente artículo resume la experiencia que conllevó a la construcción de un acuífero por parte del semillero SIIC. El prototipo corresponde a un tanque de paredes de vidrio, con el que se representa a escala bidimensional un acuífero confinado por una capa confinante (de arcilla) y un acuífero no confinado el cual finaliza con una superficie (expuesta a la atmósfera).

3. Responsabilidades del equipo de trabajo para la construcción del prototipo de acuífero

El prototipo (tanque) fue construido en vidrio y cumple el requisito que el flujo se está presentando en dos dimensiones. Las dimensiones del tanque son 70 cm * 70 cm * 10 cm. El acuífero cuenta con dos compartimientos laterales, los cuales se utilizan para controlar el flujo dentro del acuífero. Las paredes del tanque fueron construidas en vidrio porque este material permite la visibilidad y fácil mantenimiento. Adicional al tanque, se diseñó un “carro” que permite movilizar el prototipo para facilitar la interacción con los interesados en el mismo y poder verificar la movilidad de los fluidos en las dos caras frontales.

El equipo encargado de la construcción del acuífero se responsabilizó de tareas específicas que permitieron concretar el prototipo (Figura 1). Las tareas relevantes se resumen a continuación:

- Revisión de literatura: Para la definición de las dimensiones apropiadas para modelos en dos dimensiones.
- Pruebas de unidades de macrogoteo: para el control de flujo en las paredes laterales del acuífero se utilizaron las unidades de macrogoteo de los centros hospitalarios con las cuales es posible regular el flujo de salida.
- Selección y ajuste del material de suelo: teniendo en cuenta que el prototipo de acuífero buscaba ejemplarizar acuíferos confinados y no confinados se requería la selección del material granular y de la capa confinante.
- Pruebas al tanque: Con el fin de verificar la hermeticidad de la estructura previo al llenado con el material granular.
- Llenado del tanque y elaboración de un protocolo para manejo del acuífero.



Figura 1 a) Preparación del material para los pozos, b) Pulida del material de pozos, c) Instalación de la malla tipo filtro, d) Ajuste al material granular, e) Llenado del tanque, f) Pruebas de funcionamiento hidráulico del acuífero

4. Conclusiones

Este es un prototipo de un acuífero con el cual se pueden mejorar el aprendizaje de temas relacionados con la movilidad de compuestos en el suelo. Puede ser utilizado como una estrategia pedagógica con la cual se puede demostrar que los niveles de agua se abaten (disminuyen) a medida que la explotación del recurso subterráneo se ejecuta y que esto afecta la disponibilidad de recurso hídrico superficial.

La construcción de este prototipo ha facilitado la transferencia de conocimiento sobre la movilidad de compuestos el medio poroso saturado y la sensibilización sobre el compromiso ambiental como

consumidores de los recursos del medio. En el diseño y construcción del acuífero intervinieron estudiantes integrantes del semillero de investigación de Ingeniería Civil SIIC.

Para el desarrollo de este montaje se han utilizado materiales conseguidos en el medio: los filtros instalados en cada pozo simulado fueron contruidos utilizando tela (organza); las unidades de macrogoteo para controlar los niveles de agua; la “contaminación” simulada con tinte de culinaria; los sistemas de bombeo de pozos adaptados para ser ejecutados de manera manual; el sistema de drenaje del tanque desarrollado aplicando mecánica de fluidos, entre otros aspectos.

5. Referencias

- Abriola L. y G. Pinder. (2005). A multiphase approach to the modeling of porous media contamination by organic compounds: 2. Numerical simulation, *Water Resources Research*, volumen 21, pp. 19-26.
- Baehr L., M. Y. Corapcioglu. (1987). A compositional multiphase model for groundwater contamination by petroleum products 2: Numerical solutions, *Water Resource Research*, volumen 23, pp. 201-213.
- Kechavarazi C., k. Soga y T. Illangasekare. (2005). Two dimensional laboratory simulation of LNAPL infiltration and redistribution in the vadose zone, *Journal of Contaminant Hydrology*, volumen 76, pp. 211-233.
- Parker B.L., J. A. Cherry, S. W. Chapman, y M. A. Guilbeault. (2003). Review and Analysis of Chlorinated Solvent Dense Nonaqueous Phase Liquid Distributions in Five Sandy Aquifers, *Vadose Zone Journal*, vol. 2, pp. 116-137.
- Serrano-Guzman M.F. (2008). Detection and Monitoring of DNAPLs in the Subsurface Under Transient Conditions Using Cross Well Radar, Thesis Dissertation.
- Wadley L.S., R. W. Gillham, y L. Gui. (2005). Remediation of DNAPL Source Zones with Granular Iron: Laboratory and Field Tests, *Ground Water*, vol. 43, no. 1, pp. 9-18.
- White M. y M. Oostrom. (2000). STOMP Subsurface Transport Over multiple Phases Version 2 Theory Guide, Pacific Northwest, National Laboratory Report PNNL-12030.

Sobre los autores

- **María Fernanda Serrano Guzmán:** Ingeniero Civil, especialista en Gerencia de Construcción, Especialista en Ingeniería Ambiental, Magister en Ingeniería y Doctor en Ingeniería Civil, Profesor titular Facultad de Ingeniería Civil, Director General de Investigaciones, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, mariaf.serrano@upb.edu.co.
- **Juan Carlos Forero Sarmiento:** Ingeniero Civil, Especialista en Vías Terrestres, Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos, Profesor Asociado Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, juan.forero@upb.edu.co.
- **Diego Alejandro Guzmán Arias:** Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil con Énfasis en Recursos Hídricos e Hidroinformática, Profesor asistente Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, diego.guzman@upb.edu.co.
- **Diego Darío Pérez Ruiz:** Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería Civil de la Universidad de Texas en Arlington, Director Departamento Ingeniería Civil e Industrial Pontificia Universidad Javeriana, Cali, ddperez@javerianacali.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)